UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Beni culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica (DBC)

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN: STUDIO E CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHEOLOGICI E ARCHITETTONICI
INDIRIZZO: SCIENZE E TECNOLOGIE PER I BENI ARCHEOLOGICI E ARCHITETTONICI
CICLO XXVI

SVILUPPO DI STRUMENTI PER LA CONOSCENZA INTEGRATA PER UN APPROCCIO COMPLETO ALLA PROTEZIONE DELLE COSTRUZIONI STORICHE IN MURATURA

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. Giuseppe Salemi
Coordinatore d'indirizzo: Ch.mo Prof. Giuseppe Salemi
Supervisore: Ch.mo Prof. Maria Rosa Valluzzi

Dottorando: Gianluca Giacometti

a mio padre

Sommario

Le grandi perdite economiche, sociali e culturali causate dagli eventi sismici sul patrimonio storico, artistico e architettonico, hanno spinto, negli ultimi decenni, a studi sul rischio e, in generale, sul comportamento delle strutture storiche, in particolare mediante indagini in-situ.

Tutto ciò ha procurato una ingente mole di dati, che ha spinto alla ideazione e alla costruzione di vari contenitori, per lo più organizzati in forma di generiche banche dati, con lo scopo di indagare i differenti aspetti legati al rischio sismico: materiali, tipologie strutturali, meccanismi di danneggiamento e collasso osservati, efficacia delle tecniche di riparazione e rinforzo, ecc.. Tali banche dati, però, sono di solito focalizzate su particolari tipologie di beni storici, con un livello di dettaglio rapportato allo scopo delle indagini.

Al fine di sfruttare il potenziale offerto da questo bagaglio di conoscenza, occorre innanzitutto collegare le informazioni provenienti dalle diverse banche dati in rapporto alla relazione tra tipologie ed elementi strutturali e i meccanismi di rottura, includendo anche i metodi di valutazione e gli strumenti per le indagini e di monitoraggio in sito, già disponibili in letteratura. Sempre in letteratura sono inoltre disponibili valutazioni sulle proprietà di alcuni materiali (duttilità, capacità di dissipazione di energia, ecc..) e sulle tecniche di intervento usate fino ad oggi, ricavate principalmente da test di laboratorio.

Al contrario, le condizioni al contorno, i vincoli e lo stato delle connessioni sono molto importanti per comprendere il comportamento sismico di un edificio, ma i loro effetti sono raramente riportati nelle banche dati esistenti.

Da queste considerazioni è derivata la necessità di creare un nuovo sistema informatizzato, concettualmente e operativamente innovativo, che, mediante la raccolta, la riorganizzazione e l'analisi dei dati già disponibili in altre fonti in modo frammentato e non strutturato, od organizzati in relazione solo ad alcuni parametri, possa generare nuove e differenti correlazioni tra i fattori in gioco, permettendo così di ottimizzare l'uso del più aggiornato stato dell'arte per la selezione e lo sviluppo di materiali e tecnologie maggiormente appropriate alla conservazione del costruito.

Le funzionalità dinamiche e interattive, unite alla capacità di correlazione delle informazioni a differenti livelli di approfondimento e alla facilità di condivisione, ne fanno uno strumento di conoscenza integrata utile sia a professionisti che a ricercatori, per un approccio completo alla protezione del patrimonio storico.

Abstract

The great social, cultural and economic loss caused by seismic events on the cultural heritage assets have stimulated, in the last decades, studies on the risk and, in general, un the behaviour of historic structures.

A great amount of data have been collected, and several databases have been developed to gather information about particular aspects of seismic risk on masonry historical heritage. The detail level of such databases is usually influenced by the required survey or intervention, with a generalised lack of boundary conditions, type of connections and constraints, parameters very important to understand the seismic behaviour of buildings.

A global systematisation is required to take advantage from the considerable and precious amount of available data, linking all information on the basis of the relation between construction typologies and elements and failure mechanisms, including also survey and monitoring procedures and tools available in literature.

A new web-based data warehouse has been developed to collect, systematise and analyse available data. This tool, different from all previous products, which were mere data collectors, is capable of new correlations among elements and parameters to optimise the use of the state-of-the art on the selection and development of materials and technologies for masonry building preservation.

The interactive and dynamic functionalities, together with the capacity of cross-correlation of the information at different levels of knowledge and the sharing philosophy of a web-based system, make the data warehouse a powerful tool for a new innovative, integrated and knowledge based approach to the protection of cultural heritage, useful both to professionals and researchers.

INDICE GENERALE

INDICE DELLE FIGURE **VII**
INDICE DELLE TABELLE **XVII**
INTRODUZIONE **1**
1 GLI EDIFICI STORICI: TIPOLOGIE, ELEMENTI E MATERIALI **11**
1.1 LE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE ***11***
1.1.1.1 ***Edifici e palazzi*** ***11***
1.1.1.2 ***Edifici di culto*** ***13***
1.1.1.3 ***Torri*** ***14***
1.1.1.4 ***Elementi isolati*** ***14***
1.2 GLI ELEMENTI COSTRUTTIVI E I MATERIALI ***15***
1.2.1 Elementi verticali **16**
1.2.1.1 ***Elementi a struttura omogenea*** ***16***
1.2.1.2 ***Elementi a struttura composta*** ***18***
1.2.1.3 ***Le tipologie murarie*** ***24***
1.2.1.3.1 MURATURE IN LATERIZIO 24
1.2.1.3.2 MURATURE E PILASTRI IN PIETRA 27
1.2.1.3.3 MURATURE RINFORZATE CON LEGNO 36
1.2.1.3.4 MURATURE IN TERRA 38
1.2.2 Elementi orizzontali **41**
1.2.2.1 ***Solai*** ***41***
1.2.2.2 ***Coperture*** ***44***
1.2.3 Archi, volte e cupole **47**
1.2.4 Connessioni e sotto-assemblaggi **52**
1.2.5 Le tipologie dei materiali nel “data warehouse” **56**
2 I PARAMETRI E GLI INDICATORI DI RENDIMENTO **57**
2.1 ELEMENTI VERTICALI ***58***
2.2 ELEMENTI ORIZZONTALI ***61***
2.3 ARCHI E VOLTE ***62***
2.4 CONNESSIONI E SOTTO-ASSEMBLAGGI ***63***
3 I MECCANISMI DI COLLASSO **65**
3.1 MECCANISMI LOCALI ***65***
3.1.1 Elementi verticali **65**
3.1.1.1 ***Muri*** ***65***
3.1.1.2 ***Colonne*** ***77***
3.1.2 Elementi orizzontali **79**
3.1.2.1 ***Solai*** ***79***
3.1.2.2 ***Coperture*** ***80***
3.1.3 Archi, volte e cupole **84**
3.2 MECCANISMI DIPENDENTI DALLA TIPOLOGIA DI EDIFICIO ***89***
3.2.1 Edifici isolati **90**
3.2.2 Agglomerati in linea **92**

3.2.3 Aggregati complessi 94
3.2.4 Palazzi 95
3.2.5 Edifici di culto 97
3.2.6 Edifici snelli 100
3.3 I MECCANISMI DI COLLASSO INSERITI NEL "DATA WAREHOUSE" NIKER 101
4 LE TECNICHE DI INTERVENTO 103
4.1 CENNI STORICI 103
4.2 I CRITERI GENERALI DEL PROGETTO DI RESTAURO 105
4.2.1 Minimo intervento (invasività) 105
4.2.2 Durabilità 105
4.2.3 Reversibilità 106
4.2.4 Compatibilità 106
4.2.5 Conservazione dell'autenticità 107
4.2.6 Attualità espressiva 107
4.2.7 Affidabilità 108
4.2.8 Monitoraggio e controllo degli interventi 109
4.3 GLI INTERVENTI SUGGERITI NELLE LINEE GUIDA 2008 109
4.3.1 Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti 110
4.3.2 Interventi volti a ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento 112
4.3.3 Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento 114
4.3.4 Interventi in copertura 115
4.3.5 Interventi volti ad incrementare la resistenza degli elementi murari 117
4.3.6 Pilastri e colonne 120
4.3.7 Interventi su elementi non strutturali 121
4.4 IL CATALOGO DELLE TECNICHE DI INTERVENTO NEL "DATA WAREHOUSE" 122
5 IL "DATA WAREHOUSE" NIKER: STRUTTURA E FUNZIONALITÀ 129
5.1 ANALISI DELLE FONTI ESISTENTI 130
5.1.1 Progetto ONSITEFORMASONRY 130
5.1.2 Banca dati SAMCO 130
5.1.3 Banca dati del Politecnico di Milano 130
5.1.4 "Data warehouse" Rilem 223-MSC 131
5.2 CENNI SUL MODELLO RELAZIONALE DI DATI 131
5.3 LA STRUTTURA DEL "DATA WAREHOUSE" 132
5.3.1 Lo schema concettuale 132
5.3.2 Lo schema relazionale 135
5.3.3 La soluzione grafica 141
5.3.3.1 *Le tipologie costruttive* 145
5.3.3.2 *Gli elementi costruttivi, i materiali e le loro tipologie* 146
5.3.3.3 *I parametri pre-intervento* 147
5.3.3.4 *I meccanismi di collasso* 149
5.3.3.5 *Gli interventi* 149

5.3.3.6 ***Le pubblicazioni*** ***152***
5.3.4 La gestione degli utenti **152**
5.3.5 I linguaggi e le tecniche di programmazione **153**
5.4 IL CATALOGO DELLE PUBBLICAZIONI: UNO STRUMENTO DI VERIFICA E CORRELAZIONE DEI DATI INSERITI ***154***
5.5 LE FUNZIONALITÀ DI GESTIONE, CONTROLLO E ANALISI DEI DATI ***157***
5.6 LE POTENZIALITÀ DI CONDIVISIONE DELLE INFORMAZIONI DEL "DATA WAREHOUSE" ***162***
6 L'ANALISI DEI DATI RACCOLTI **165**
6.1 I RISULTATI ***165***
6.1.1 Elemento costruttivo "muro" **171**
6.1.1.1 ***I meccanismi di collasso*** ***171***
6.1.1.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di collasso*** ***174***
6.1.2 Elemento costruttivo "solaio" **176**
6.1.2.1 ***I meccanismi di collasso*** ***176***
6.1.2.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*** ***179***
6.1.3 Elemento costruttivo "copertura" **179**
6.1.3.1 ***I meccanismi di collasso*** ***179***
6.1.3.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*** ***182***
6.1.4 Elemento costruttivo "arco / volta" **182**
6.1.4.1 ***I meccanismi di collasso*** ***182***
6.1.4.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*** ***184***
6.1.5 Elemento costruttivo "colonne" **185**
6.1.5.1 ***I meccanismi di collasso*** ***185***
6.1.5.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*** ***188***
6.1.6 Elemento costruttivo "connessioni" **189**
6.1.6.1 ***I meccanismi di collasso*** ***189***
6.1.6.2 ***Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*** ***189***
6.2 LE INDICAZIONI FORNITE DAL "DATA WAREHOUSE" ***191***
6.2.1 Valutazioni sul grado di conoscenza **191**
6.2.2 Validazione grafica dei dati inseriti **194**
CONCLUSIONI **197**
RINGRAZIAMENTI **201**
BIBLIOGRAFIA **203**
SITOGRAFIA **217**
APPENDICE **221**
ALLEGATO 1 SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: PALAZZI ***223***
ALLEGATO 2 SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: CHIESE ***237***

ALLEGATO 3 CARTE DEL RESTAURO *247*
Prima Carta Italiana del Restauro (1883) **247**
Carta di Atene (1931) **249**
Carta Italiana del restauro (1932) **253**
Carta di Venezia (1964) **255**
Carta Italiana del Restauro (1972) **257**
Carta di Amsterdam (1975) **269**
Carta di Washington (1987) **277**
Carta di Cracovia (2000) **279**
Carta ICOMOS (2003) **283**
ALLEGATO 4 IL CATALOGO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE *287*
ALLEGATO 5 IL CATALOGO DEGLI INTERVENTI *303*
ALLEGATO 6 IL CATALOGO DELLE PUBBLICAZIONI *387*
ALLEGATO 7 I PARAMETRI, I VALORI E LE LORO CORRELAZIONI CON LE SPECIFICHE DEGLI ELEMENTI E I MECCANISMI DI COLLASSO *395*
A7.1 Elemento costruttivo "muro" **395**
A7.1.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali *395*
A7.1.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali *402*
A7.1.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura *440*
A7.2 Elemento costruttivo "solaio" **487**
A7.2.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali *487*
A7.2.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali *490*
A7.2.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura *509*
A7.3 Elemento costruttivo "copertura" **525**
A7.3.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali *525*
A7.3.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali *527*
A7.3.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura *527*
A7.4 Elemento costruttivo "arco / volta" **529**
A7.4.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali *529*
A7.4.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali *531*
A7.4.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura *536*
A7.5 Elemento costruttivo "colonne" **558**
A7.5.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali *558*
A7.5.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali *560*
A7.5.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura *564*
A7.6 Elemento costruttivo "connessioni" **568**

A7.6.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali 568
A7.6.2 Il dettaglio dei valori dei parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali 572
A7.6.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura 576
ALLEGATO 8 IL MANUALE D'USO PER GLI UTENTI DEL "DATA WAREHOUSE" 587

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Distribuzione degli eventi sismici nel mondo tra il 1974 e il 2003 (EM-DAT) 2

Figura 2: Provenienza dei partecipanti del progetto NIKER (NIKER, 2009) 4

Figura 3: Schema metodologico del "data warehouse per per l'immissione e l'analisi dei dati 8

Figura 4: Schema metodologico del "data warehouse" per la scelta di uno specifico intervento 9

Figura 5: a) S. Gimignano (Italia); b) Civita di Bagnoregio (Italia); Il Borghetto (Italia) 12

Figura 6: a) Royal Albert Hall (Londra – Regno Unito); c) Palazzo della Ragione (Padova – Italia); Ara Pacis (Roma – Italia) 12

Figura 7: Esempi di palazzi e castelli: a) Reggia Venaria Reale (Torino – Italia) [Sito 2]; b) Castel Thun (Trento – Italia) [Sito 3]; c) Castello di Cardiff (Cardiff – Regno Unito) [Sito 4] 13

Figura 8: a) Basilica di S. Antonio (Padova – Italia); b) Grande Sinagoga Pizen (Praga – Repubblica Ceca) [Sito 5]; c) Moschea Abu-Darwish (Amman – Giordania) [Sito 6]; d) Tempio indù (Mangeshi – India) [Sito 7] 13

Figura 9: a) Torre degli Asinelli (Bologna – Italia) [Sito 8]; b) Torre dei Chierici (Porto – Portogallo) [Sito 9]; c) Torre di Pisa (Pisa – Italia) [Sito 10] 14

Figura 10: a) Foro Romano (Roma – Italia); b) Ala dell'Arena (Verona – Italia) [Sito 11] 15

Figura 11: Lesioni strutturali in costruzioni storiche in terra battuta: a) Forte Basgo (Ladakh – India); b) Precettoria (Ambel – Spagna). (Jaquin, 2008a) [Sito 12] 17

Figura 12: Costruzione di un tratto di muro in "cob" e costruzione storica in "cob" in Germania (Röhlen et al., 2010) 18

Figura 13: Grafico densità-resistenza su alcuni mattoni storici (Fernandes et al., 2007) 22

Figura 14: Dipendenza della resistenza a compressione in relazione al contenuto di umidità nei mattoni in terra (Müller et al, 2011; Lawrence et al., 2009) 23

Figura 15: Produzione di mattoni in terra essiccati al sole (Moli Haussa – Niger) 24

Figura 16: Esempi di sezione di murature (Tedeschi, 2004) 25

Figura 17: Schemi di disposizione dei mattoni all'interno della muratura: a) singolo mattone, b) due teste, c) tre teste 26

Figura 18: Disposizione dei mattoni in relazione allo spessore: a) singolo mattone, b) due teste, c) tre teste, c) quattro teste (Carbonara, 1996) 26

Figura 19: Paramento di mattoni a disposizione regolare a ricopertura di un muro con mattoni a disposizione non regolare (Binda, 2009a) 26

Figura 20: Sezione muraria della torre civica di Pavia (Binda et al., 1992) 27

Figura 21: Possibili sezioni di una muratura in pietra (Binda, 2005) 28

Figura 22: Confronto fra i rapporti percentuali tra malta e pietra misurati sull'area di una sezione trasversale in muri in pietra nelle regioni italiane (Binda, 2000b) 29

Figura 23: Tessiture e sezioni murarie (Binda, 2000b; Binda, 2003a; Cardani, 2004) 29

Figura 24: Schemi per la valutazione qualitativa delle tipologie murarie in Umbria (Guerreri, 1999; Avorio et al, 2002a; Angeletti et al., 2004) 30

Figura 25: Scheda di valutazione della qualità muraria (Regione dell'Umbria, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18) 31

Figura 26: Abachi della guida alla compilazione delle schede di valutazione della qualità muraria (Regione dell'Umbria, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18) 32

Figura 27: Suddivisione proposta nella ricerca del consorzio ReLUIS (Binda, 2006b; Binda, 2006c, Borri, 2006) 33

Figura 28: Tipologie di muratura con valutazione del grado di connessione trasversale (Speranza, 2003) 34

Figura 29: Esempi di pilastri multistrato nella cattedrali di Pavia, Noto e Milano 35

Figura 30: Conci di colonne con ben visibili i fori per l'assemblaggio e la legatura 35

Figura 31: Esempio di muro in struttura mista pietra e laterizio dall'edizione di Cesare Cesariano del 1521 del trattato De Architectura di Vitruvio (Cesariano, 1521) 36

Figura 32: Esempi di distribuzioni di pietra e laterizio nelle murature 36

Figura 33: Schema di distribuzione dei rinforzi longitudinali in legno nello spessore della muratura (Vintzileou, 2008) 37

Figura 34: Dettagli della costruzione Pombalina (Cóias e Silva, 2002; Paula et al., 2006) 37

Figura 35: Tipologie di ossature lignee (Cóias e Silva, 2002; Paula et al., 2006) 38

Figura 36: Morfologia tipica degli edifici dell'isola di Lefkada (Vintzileou, 2007a) 38

Figura 37: Esempi di tipologie di murature in "adobe" (D'Ayala et al., 2003a) 39

Figura 38: Tipologie di murature in terra battura osservate in Spagna (Jaquin et al., 2007) 40

Figura 39: Particolare di muri d'appoggio per costruzioni in "cob" [Sito 13] 40

Figura 40: Esempi di solai in edifici del 1500 [Sito 14; Sito 15] 41

Figura 41: Schema di solaio unidirezionale (Rondelet, 1834) 42

Figura 42: Schema di solaio bidirezionale (Rondelet, 1834) 43

Figura 43: Esempi di solai tipo Serlio (Munafò, 1990) 43

Figura 44: Tipologie tradizionali di coperture in legno (Giordano, 1993). 44

Figura 45: Edificio di ordine dorico con illustrazione di una capriata (Cesariano, 1521). 45

Figura 46: Schema di capriata semplice "alla Palladio" con identificazione delle singole componenti (Ceccotti et al, 2007). 45

Figura 47: Tipologie di capriate e incavallature riscontrabili in edifici civili e monumentali (Ceccotti et al, 2007). 46

Figura 48: Schemi statici in relazione alla tipologia di capriata (Ceccotti et al, 2007). 46

Figura 49: Esempio di volta in legno (Giovanetti, 1998) 47

Figura 50: Principali tipologie di arco presenti in letteratura (Binda, 2003b) 48

Figura 51: Principali tipologie di volte di traslazione: a) volta a botte, b) volta a crociera, c) volta a lunetta, d) volta a padiglione, e) volta a schifo (Carbonara, 2004) 49

Figura 52: Principali tipologie di volte di rotazione: a) volta a cupola, b) volta a crete o vele, c) volta a cupola circolare (Carbonara, 2004) 49

Figura 53: Principali tipologie costruttive di cupole [Sito 16, Sito 17, Sito 18, Sito 19, Sito 20, Sito 21] 50

Figura 54: Schema ed esempio di cupola a corsi concentrici (Arg-e-Bam – Iran) (Licciardi, 2008) 51

Figura 55: Schema ed esempi in costruzione di cupola con pennacchi (primo tipo) (Licciardi, 2008) 51

Figura 56: Schema ed esempio di cupola con pennacchi (secondo tipo) (Licciardi, 2008) 51

Figura 57: Schema di cupola con pennacchi isolati (Licciardi, 2008) 52

Figura 58: Alcune disposizioni di pietre angolari: a) nessuna connessione con uno dei due muri, b) connessione inefficace per la natura della muratura, c) connessione efficiente (Ferrini et al., 2003) 52

Figura 59: Esempi di connessione tra muro e solaio in edifici in muratura in pietra e laterizio (Ahnert et al., 1991; NTUA/EPPO, 2005; Vintzileou, 2008) 53

Figura 60: Esempi di connessione tra muro e solaio in edifici in “adobe” (Tolles et al., 2002) 54

Figura 61: Esempi di tiranti, placche metalliche e bolzoni per murature 54

Figura 62: Schema di tirante di contenimento sotto una volta 55

Figura 63: Danni a seguito del terremoto di Messina del 1908 (Giuffrè, 1993) 65

Figura 64: Esempi di rottura fuori piano di murature in pietra (Binda et al., 2003b) 65

Figura 65: Danni a seguito di rotture fuori piano (Valluzzi et al., 2007; Binda et al., 2007) 66

Figura 66: Fessura quale testimonianza di evoluzione costruttiva di un edificio (Binda, 2005a) 66

Figura 67: Schemi di rottura a seguito di discontinuità costruttive (Doglioni et al., 2007) 67

Figura 68: Schemi di tipici innalzamenti di un piano in Ortigia (Giuffrè, 1993) ed errori frequenti (Doglioni et al., 2007). 67

Figura 69: Discontinuità causate dal riempimento di aperture e relativo schema di collasso (Doglioni et al., 2007) 68

Figura 70: Diminuzione di capacità portante dovuta al deterioramento Binda et al., 1997; Doglioni et al., 2007) 68

Figura 71: Schemi di collasso per rotazione al piede (D’Ayala et al., 2003b) 69

Figura 72: Modelli cinematici per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce verticali (Valluzzi et al., 2007) 70

Figura 73: Modelli cinematici per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce orizzontali (Valluzzi et al., 2007) 71

Figura 74: Schemi ed esempi di rottura per flessione verticale fuori piano (Borri et al., 2004a, Borri et al., 2004b) 72

Figura 75: Schemi ed esempi di rottura per flessione orizzontale fuori piano (Borri et al., 2004a, Borri et al., 2004b) 72

Figura 76: La presenza di canne fumerie facilita la creazione di cerniere che mobilizzano il meccanismo di rottura per flessione orizzontale fuori piano (Borri et al., 2004b) 72

Figura 77: Esempi di rottura fuori piano con meccanismi misti (Avorio et al., 2002a; Doglioni, 1999) 73

Figura 78: Tipologie di danno nelle pereti di un edificio soggetto ad azione sismica (Tomaževič, 2000) 74

Figura 79: Schema di modelli cinematici per pereti soggette ad azioni nel piano: a) muro singolo; b) sistema a paramenti multipli (Valluzzi et al., 2007) 74

Figura 80: Tipologie di danno nel piano di pereti soggette a sollecitazioni orizzontali (Calderini et al., 2009) 75

Figura 81: Esempi di rotture nel piano (Valluzzi et al., 2007; EEFIT, 1982) 75

Figura 82: Fessurazioni diagonali in caso di buona o cattiva adesione della malta (Calderini et al., 2009) 75

Figura 83: Alcune tipologie di danno negli elementi verticali in “Adobe” (Tolles et al., 1996) 76

Figura 84: Tipologie di danno negli elementi verticali in terra a struttura omogenea (Müller, 2002; Jaquin, 2008b; Hurd, 2006) 77

Figura 85: Fessurazioni verticali in un edificio in terra battuta soggetto ad azioni sismiche (MoHCA, 2011) 77

Figura 86: Esempi e schemi di slittamento dei conci e ribaltamento di colonne (Giuffrè, 1993; Sousa Oliveira et al., 2008) 78

Figura 87: Concentrazione delle sollecitazioni e danni conseguenti in colonne soggette ad azioni flessionali durante gli eventi sismici (Binda e al., 2010) 78

Figura 88: a) Danni ad un solaio ligneo causati dallo spostamento dei supporti (India) (UNESCO, 2007); b) Rottura del solaio dovuto all’impatto in seguito al crollo di un muro (India) (UNESCO, 2007) 79

Figura 89: a) Schema di sfilamento delle travi di un solaio ligneo (Cangi, 2009); b) sfilamento delle travi in un edificio aggravata da un ammaloramento diffuso delle teste (L’Aquila – Italia) (Cangi, 2009) 80

Figura 90: Sequenza di rottura di una capriata con conseguente eccesso di carico sulla catena e spinta laterale sui muri portanti (Tampone, 2001) 81

Figura 91: a) Collasso della capriata dovuto al degrado del nodo puntone-catena (Doglioni et al., 2007); b) Nodo puntone-catena ammalorato [Sito 26] 81

Figura 92: Danni alla muratura portante a più paramenti dovuti ad un eccesso di carico agli appoggi (Doglioni, 1999) 82

Figura 93: Danni sulle capriate a seguito del terremoto (Castroreale – Italia) [Sito 30] 82

Figura 94: Esempi di azioni di martellamento sui muri portanti dovuti al movimento delle coperture (Doglioni, 1999) 83

Figura 95: a) Crollo del campanile, della copertura e collasso parziale fuori piano della facciata (Bazzano – Italia) [Sito 28]; b) Collasso totale della copertura dovuta al cedimento degli appoggi (L'Aquila – Italia) [Sito 29] 83

Figura 96: Danneggiamento dovuto alla traslazione della trave di colmo (Cardani, [Sito 27]) 83

Figura 97: Modalità di collasso delle volte (Giovanetti, 1998) 84

Figura 98: Danni al riempimento di una volta dovuti al movimento dei muri perimetrali (Doglioni, 2007) 85

Figura 99: Meccanismo di collasso a quattro cerniere dell'arco trionfale; a) rotazione di entrambe le colonne; b) rotazione di una sola colonna (Lagomarsino et al., 2009) 85

Figura 100: Tipologie fessurative nelle volte a botte (Piccirilli, 1989) 86

Figura 101: Tipologie fessurative nelle volte a croce (Heyman, 1995; Abraham, 1934) 87

Figura 102: Sollecitazioni e lesioni nelle volte a padiglione (Piccirilli, 1989) 87

Figura 103: Sollecitazioni e lesioni nelle volte a vela (Piccirilli, 1989) 88

Figura 104: Meccanismo di fessurazione e suddivisione in spicchi nelle cupole (Piccirilli, 1989) 88

Figura 105: Meccanismo di fessurazione delle cupole in "Adobe" con pennacchi (primo tipo) ed esempio di collasso quasi completo (Arg-e-Bam – Iran) (Licciardi, 2008) 89

Figura 106: Esempio di traslazione del solaio di interpiano e rottura a piano debole (Lèucade – Grecia) (Vintzileou et al., 2007) 90

Figura 107: Esempio di casa Newari con le travi dei solai di interpiano ben visibili (Nepal) [Sito 23] 91

Figura 108: Schema di rottura a piano debole (D'Ayala, 2006) 91

Figura 109: Case Tulou (Cina) (Huang Hanmin, 1991) 91

Figura 110: Schemi di blocchi di edifici a sviluppo longitudinale (Binda et al., 2005a) 92

Figura 111: Schema di possibili danni in un edificio di testa in un blocco longitudinale (Gurrieri, 1999; Avorio et al., 2002b) 92

Figura 112: Danni dovuti a cambi in altezza in un blocco lineare di edifici (Guerreri, 1999) 93

Figura 113: Danni dovuti al disallineamento in un blocco lineare di edifici (Guerreri, 1999) 94

Figura 114: Danni dovuti a cambi di rigidezza in un blocco lineare di edifici: rotazione, ribaltamento parziale e martellamento (Binda et al., 2006a) 94

Figura 115: Agglomerati complessi in Umbria (Binda et al., 2006a) 95

Figura 116: a) Città fortificata di Ait-Ben-Haddou (Marocco) [Sito 31]; Sassi di Matera (Matera – Italia) 95

Figura 117: Abaco dei meccanismi di collasso dei palazzi, modello B-DP PCM-DPC MiBAC 2006 97

Figura 118: Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese, modello B-DC PCM-DPC MiBAC 2006 99

Figura 119: Monastero di Daphni (Atene – Grecia) [Sito 25] 99

Figura 120: Possibili posizioni di una torre nel contesto urbano (Sepe et al., 2008) 100

Figura 121: Possibili meccanismi di collasso delle torri (Sepe et al., 2008) 101

Figura 122: Rotazione e collasso della lanterna e formazione di cerniere plastiche alla base (Agadir – Marocco) 101

Figura 123: Schemi di inserimento di tiranti e particolari dei capichiave (Modena, et al., 2009a; Modena, et al., 2009b, Valluzzi et al., 2006) 110

Figura 124: Schema ed esempi di cerchiature (Borri et al, 1999b; Modena et al., 2009b) 111

Figura 125: Esempi di cordoli sommitali (Modena et al., 2009b) 111

Figura 126: Schemi ed esempi di ancoraggio dei solai ai muri (Valluzzi et al., 2006) 112

Figura 127: Rinforzo tramite placcaggio all'estradosso di volte in muratura con fasce di materiale composito FRP in situ e in laboratorio (Valluzzi, 2008; Valluzzi et al., 2001) 113

Figura 128: Catene di consolidamento in archi e volte [Sito 32] 113

Figura 129: Contrafforti a sostegno di volte (Modena et al., 2009b) 114

Figura 130: Schema esecutivo della tecnica “sololegno” (Valluzzi et al., 2006; Modena et al. 2008) 115

Figura 131: Irrigidimento di solai con bande incrociate in materiali compositi (Modena et al., 2009b) 115

Figura 132: Differenti tipologie di rinforzo del nodo catena-puntone di una capriata (Parisi et al., 2000) 116

Figura 133: a) Controventamento con tavolato e nastro forato all’estradosso della copertura; b) Consolidamento degli appoggi e delle capriate mediante cavi esterni post tesati, con inserimento di un nuovo puntello ligneo di contrasto della falda (Jurina, 2004) 116

Figura 134: Schema ed esempio di controventi metallici all’intradosso della copertura (Modena et al., 2009b) 116

Figura 135: Esempi di interventi “scuci-cuci” (Modena et al., 2002) 117

Figura 136: Schema ed esecuzione di iniezioni (Caleca et al., 1999; Modena 2009a) 118

Figura 137: Esecuzione di ristilatura su pannelli pilota (Valluzzi et al., 2004) 118

Figura 138: Schema ed esecuzione di ristilatura armata in situ (Valluzzi et al., 2005, Modena et al., 2001) 119

Figura 139: Installazione di un tirantino antiespulsivo (Modena et al., 2009b) 119

Figura 140: Applicazioni di intonaci armati (Binda et al., 2007) 120
Figura 141: Consolidamento di pilastri (Valluzzi et al., 2006) 121
Figura 142: Schema della scheda per la catalogazione degli interventi 122
Figura 143: Schema del processo di definizione degli interventi su un elemento strutturale 133
Figura 144: Schema concettuale del modello relazionale del “data warehouse” 134
Figura 145: Tipologia delle associazioni tra le tabelle nello schema concettuale 134
Figura 146: Definizione delle tabelle del “data warehouse” 140
Figura 147: Definizione della vista usata nel “data warehouse” 141
Figura 148: Insiemi chiave di oggetti e relazioni nella definizione del processo 143
Figura 149: Schema logico rappresentativo dell’insieme specifica dell’elemento, meccanismo di collasso e intervento 143
Figura 150: Schema grafico della relazione tra specifica dell’elemento, meccanismo di collasso e interventi correlati 144
Figura 151: Impostazione grafica del sistema informatico 145
Figura 152: Rappresentazione delle tipologie costruttive 146
Figura 153: Rappresentazione di elementi costruttivi, materiali e loro tipologie 146
Figura 154: Rappresentazione dei parametri pre-intervento 147
Figura 155: Finestra con i valori pre-intervento di un parametro 148
Figura 156: Finestra con la distribuzione dei valori pre-intervento di un parametro 148
Figura 157: Rappresentazione dei meccanismi di collasso e loro caratteristiche 149
Figura 158: Rappresentazione degli interventi correlati agli elementi costruttivi e ai meccanismi di collasso 150
Figura 159: Rappresentazione degli parametri e degli indicatori connessi a un intervento 151
Figura 160: Rappresentazione delle specifiche di un intervento 151
Figura 161: Rappresentazione delle pubblicazioni 152
Figura 162: Associazione di una pubblicazione al valore del parametro 154
Figura 163: Modalità di correlazione tra i valori pre e post intervento di uno stesso parametro per mezzo delle pubblicazioni 156
Figura 164: Modalità di correlazione tra due parametri differenti nella medesima condizione di post intervento per mezzo delle pubblicazioni 156
Figura 165: Interfaccia grafica per un utente autorizzato con gli elementi grafici per la manipolazione e l’esportazione dei dati 158
Figura 166: Pagina di selezione dei parametri dei grafici dinamici 160
Figura 167: Schema delle possibilità di correlazione tra i valori dei parametri 162
Figura 168: Schema di associazione in funzione dell’ordinamento 162
Figura 169: Schema rappresentativo delle potenzialità di condivisione delle informazioni del “data warehouse” 163
Figura 170: Individuazione degli interventi suggeriti per la muratura in pietra a paramento multiplo soggetta a rottura nel piano 166

Figura 171: Parametri che caratterizzano il comportamento sismico della muratura in pietra a paramento multiplo 167

Figura 172: Indicatori prestazionali di rendimento coinvolti nel meccanismo di rottura nel piano dei muri 168

Figura 173: Proprietà ricavate dal sistema per le iniezioni nelle murature in pietra a paramento multiplo soggette a rottura nel piano 168

Figura 174: Valori pre-intervento del modulo di taglio per la muratura in pietra a paramento multiplo ricavate da pubblicazioni scientifiche 170

Figura 175: Valori post-intervento del modulo di taglio per la muratura in pietra a paramento multiplo dopo un intervento di iniezioni, ricavate da pubblicazioni scientifiche 170

Figura 170: I meccanismi di collasso definiti nel “data wharehouse” per l’elemento costruttivo “muro” 171

Figura 171: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “rottura nel piano” per l’elemento costruttivo “muro” 171

Figura 172: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “ribaltamento fuori piano” per l’elemento costruttivo “muro” 172

Figura 173: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismon “flessione flori piano” per l’elemento costruttivo “muro” 172

Figura 174: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “separazione dei paramenti” per l’elemento costruttivo “muro” 173

Figura 175: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l’elemento costruttivo “muro” 175

Figura 177: I meccanismi di collasso definiti nel “data wharehouse” per l’elemento costruttivo “solaio” 176

Figura 178: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “resistenza e rigidezza inadeguate per la flessione fuori piano” per l’elemento costruttivo “muro” 176

Figura 179: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “rigidezza nel piano inadeguata” per l’elemento costruttivo “muro” 177

Figura 180: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “scivolamento agli appoggi” per l’elemento costruttivo “muro” 177

Figura 181: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “separazione trave-volta” per l’elemento costruttivo “muro” 177

Figura 182: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “rottura nel piano” per l’elemento costruttivo “muro” 178

Figura 183: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “trave metallica arrugginita” per l’elemento costruttivo “muro” 178

Figura 184: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo “degrado o rottura del laterizio” per l’elemento costruttivo “muro” 178

Figura 185: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l’elemento costruttivo “solaio” 179

Figura 187: I meccanismi di collasso definiti nel “data wharehouse” per l’elemento costruttivo “copertura” 180

Figura 188: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "resistenza e rigidezza inadeguate a flessione" per l'elemento costruttivo "muro" 180

Figura 189: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rigidezza inadeguata nel piano" per l'elemento costruttivo "muro" 180

Figura 190: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "scivolamento dei supporti" per l'elemento costruttivo "muro" 180

Figura 191: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "degrado del materiale" per l'elemento costruttivo "muro" 180

Figura 192: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "instabilità fuori piano" per l'elemento costruttivo "muro" 181

Figura 193: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura degli appoggi" per l'elemento costruttivo "muro" 181

Figura 194: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "copertura" 182

Figura 196: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "arco / volta" 183

Figura 197: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "spostamento dei supporti" per l'elemento costruttivo "muro" 183

Figura 198: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "assestamento differenziale dei piedritti" per l'elemento costruttivo "muro" 183

Figura 199: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "scivolamento longitudinale" per l'elemento costruttivo "muro" 184

Figura 200: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "variazione del carico "per l'elemento costruttivo "muro" 184

Figura 201: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "arco / volta" 184

Figura 203: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "colonnato" 185

Figura 204: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro" 185

Figura 205: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro" 186

Figura 206: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro" 186

Figura 207: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro" 186

Figura 208: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro" 187

Figura 209: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro" 187

Figura 210: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro" 187

Figura 211: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "colonne" 188

Figura 213: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "connessioni" 189

Figura 214: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro" 189

Figura 215: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "connessioni" 191

Figura 217: Esempio di confronto tra i valori di un parametro prima e dopo gli interventi (resistenza a compressione per la muratura multistrato in laterizio) 194

Figura 218: Confronto della relazione tra di valori di due parametri prima e dopo gli interventi (spostamento ultimo in relazione ai carichi ultimi per archi e volte) 195

Figura 176: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "muro" 401

Figura 186: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "solaio" 489

Figura 195: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "copertura" 527

Figura 202: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "arco / volta" 530

Figura 212: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "colonne" 559

Figura 216: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "connessioni" 571

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1:	Lista dei partecipanti al progetto NIKER (NIKER, 2009)	5
Tabella 2:	Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche dei principali tipi di malte (Schäfer et al., 1993; Houben et al., 1994; Müller et al., 2008; Magalhães et al., 2009; Schubert, 2009)	19
Tabella 3:	Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche dei principali tipi di pietre (Grimm, 1990; Warnecke, 1998; Schubert, 2009)	20
Tabella 4:	Resistenza a compressione e densità dei mattoni (Curioni, 1868)	20
Tabella 5:	Resistenza a compressione dei mattoni impiegati per la costruzione del Canale Cavour (Curioni, 1868)	21
Tabella 6:	Resistenza a compressione di mattoni e murature (Donghi, 1905)	21
Tabella 7:	Alcune caratteristiche meccaniche di campioni in terra cruda (Silveira et al., 2012)	23
Tabella 8:	Tipologie di materiale inserite nel “data warehouse” suddivise per elemento costruttivo	56
Tabella 9:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi verticali	59
Tabella 10:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli elementi verticali	60
Tabella 11:	Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi verticali	60
Tabella 12:	Indicatori descrittivi di rendimento prestazionale inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi verticali	60
Tabella 13:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi orizzontali	61
Tabella 14:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli elementi orizzontali	62
Tabella 15:	Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi orizzontali	62
Tabella 16:	Indicatori descrittivi di rendimento prestazionale inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi orizzontali	62
Tabella 17:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli archi e nelle volte	63
Tabella 18:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli archi e nelle volte	63
Tabella 19:	Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli archi e nelle volte	63
Tabella 20:	Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale nelle connessioni e sotto-assemblaggi	63

Tabella 21: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale nelle connessioni e sotto-assemblaggi 64

Tabella 22: Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso nelle connessioni e sotto-assemblaggi 64

Tabella 23: I meccanismi di rottura definiti nel “data warehouse” 102

Tabella 24: Descrizione delle voci della scheda di catalogazione degli interventi 123

Tabella 25: Scheda del catalogo degli interventi relativa alle iniezioni 124

Tabella 26: Interventi associati a ciascun elemento costruttivo nel “data warehouse” 127

Tabella 27: Tabelle e viste della banca dati 135

Tabella 28: Descrizione dei tipi di attributi definiti nelle tabelle della banca dati 136

Tabella 29: Dettagli comuni a tutti gli elementi grafici di gestione 157

Tabella 30: Elementi grafici per l’esportazione dei dati 157

Tabella 31: Elementi grafici per il controllo sulla quantità di dati inseriti 157

Tabella 32: Definizione dei livelli di valutazione sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal “data warehouse” 192

Tabella 33: Riepilogo sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal “data warehouse” suddivisa per materiale 192

Tabella 34: Riepilogo sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal “data warehouse” suddivisa per materiale e tipologia 193

INTRODUZIONE

Per trovare la prima definizione di “bene culturale” si deve risalire a più di mezzo secolo fa, e precisamente alle “Norme per la protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato”, testo della Convenzione dell’Aja del 1954 (Convenzione UNESCO, 1954).

Il testo non solo definisce lo status di bene culturale[1], ma stabilisce un impegno da parte delle nazioni firmatarie alla protezione[2], alla salvaguardia[3] e al rispetto[4] dello stesso.

L’importanza di tale dichiarazione è da ricercarsi dunque in una nuova visione che identifica il “bene culturale” quale patrimonio dell’umanità stabilendone l’importanza della tutela e della salvaguardia.

In recepimento nella legislazione italiana di quanto stabilito dalla Convenzione dell’Aja del 1954 non è stato immediato. Solo nel 1967 la commissione Franceschini proponeva di definire “beni culturali d’interesse artistico o storico” le cose mobili o immobili di singolare pregio, rarità o rappresentatività, aventi relazione con la storia culturale dell'umanità (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 1967).

Occorrerà però attendere il Testo Unico sui beni culturali del 1999 affinché le indicazioni della Commissione Franceschini vengano recepite in forma di legge (Parlamento Italiano, 1999).

Rientrano dunque tra i beni culturali che necessitano di salvaguardia sia i beni immobili di diretto interesse artistico o storico, sia quelli che rivestono un particolare interesse in quanto riferiti alla storia, alla letteratura o all’arte. Nel seguito, ci riferiremo a tele categoria con il termine generico di “edifici storici”.

In tempo di pace il fattore di maggior rischio per la vulnerabilità degli edifici storici è rappresentato dai fenomeni sismici. In paesi come Italia, Grecia, Turchia, dalla storia ricca di arte e cultura, è facilmente intuibile la quantità di edifici che sono a rischio in caso di eventi sismici di media e grande intensità. Nella sola Europa più di 41 milioni di persone (circa l’8% del totale) vive in zone ad elevato rischio sismico e la perdita economica totale negli ultimi 30 anni in Europa dovuta ai terremoti è stimata in circa 35 miliardi di euro, senza contare la perdita di vite umane (EM-DAT).

[1] Articolo 1. Definizione dei beni culturali.

[2] Articolo 2. Protezione dei beni culturali.

[3] Articolo 3. Salvaguardia dei beni culturali.

[4] Articolo 4. Rispetto dei beni culturali.

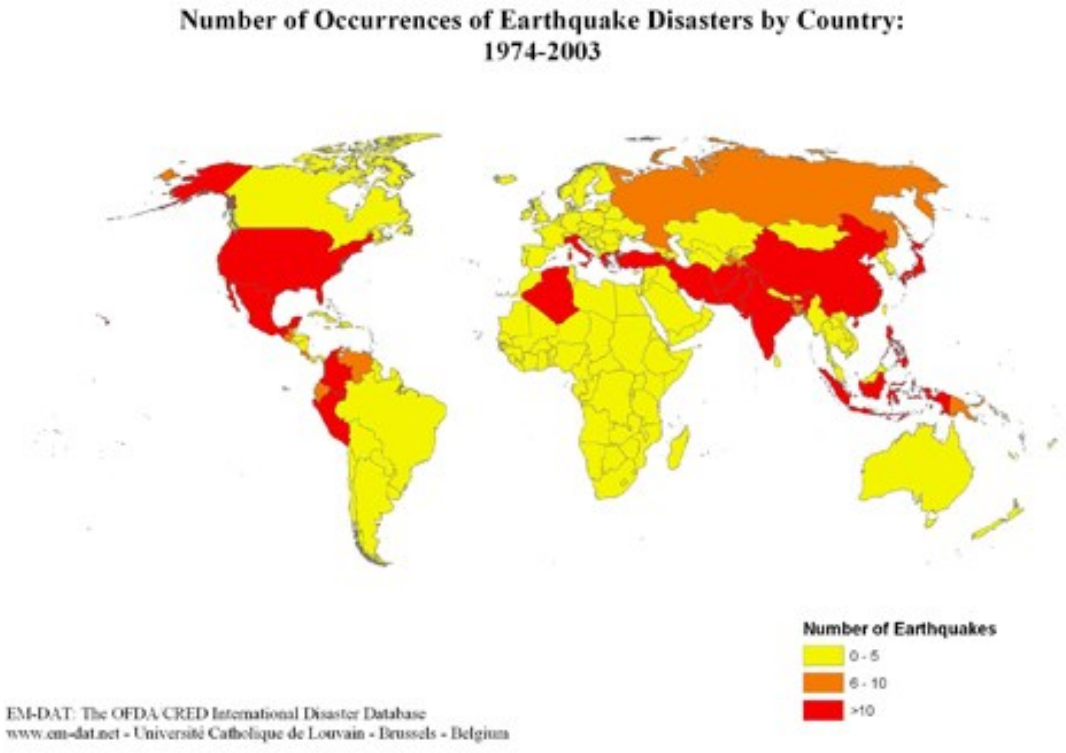


Figura 1: Distribuzione degli eventi sismici nel mondo tra il 1974 e il 2003 (EM-DAT)

A Bam, nel sud dell'Iran, nel 2003 un terremoto oltre a causare più di 25000 vittime ha distrutto il più grande complesso storico di edifici in mattoni d'argilla, antico di 2000 anni (Wiles et al., 2007).

In Italia nel 1997 il terremoto in Umbria e Marche ha causato il danneggiamento di oltre 8000 edifici storici, compresa la basilica di San Francesco in Assisi e gli affreschi di Giotto (Binda et al., 2004).

Sempre in Italia, il terremoto de L'Aquila nel 2009 ha causato perdite economiche stimate in più di 3 miliardi di euro, lasciando agibile solo il 23% degli edifici nel centro storico del capoluogo abruzzese (D'Ayala, 2010).

Slovenia e Marocco 2004, India 2005, Cina 2008, Italia 2012, la serie di eventi si sussegue con naturale ineluttabilità lasciando dietro di sé, oltre alla morte, perdite a volte incalcolabili in termini di patrimonio culturale.

La sola strategia per limitare tali perdite è quella di identificare in anticipo le possibili vulnerabilità e attuare una prevenzione che cerchi per quanto possibile di arginare i danni provocati da fenomeni sismici. Laddove questo non sia possibile e nel caso in cui l'edificio non sia completamente compromesso, è necessario individuare una serie di interventi di ripristino strutturale che garantiscano il rispetto sia dei materiali che del comportamento strutturale originario.

Sulla base di queste considerazioni sono state redatte nel 2007 le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" allineandole l'anno successivo alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Circolare n. 26/2010).

Come evidenziato da tale documento: "*la conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento*", stabilendo al tempo stesso i criteri a cui ricondurre il percorso della conoscenza:

- *l'identificazione della costruzione, la sua localizzazione in relazione a particolari aree a rischio, ed il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante; l'analisi consiste in un primo rilievo schematico del manufatto e nell'identificazione di eventuali elementi di pregio (apparati decorativi fissi, beni artistici mobili) che possono condizionare il livello di rischio;*
- *il rilievo geometrico della costruzione nello stato attuale, inteso come completa descrizione stereometrica della fabbrica, compresi gli eventuali fenomeni fessurativi e deformativi;*
- *l'individuazione della evoluzione della fabbrica, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria all'attuale;*
- *l'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente, nell'accezione materica e costruttiva, con una particolare attenzione rivolta alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi ed alla connessioni tra gli elementi;*
- *l'identificazione dei materiali, del loro stato di degrado, delle loro proprietà meccaniche;*
- *la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel tempo ed ai relativi dissesti.*

Nasce quindi la necessità di identificare e catalogare gli edifici di carattere storico, esigenza che ha spinto enti e gruppi di ricerca alla creazione di banche dati più o meno informatizzate per una più facile catalogazione e una più efficiente risposta alle esigenze di reperibilità della singola informazione.

La stessa Protezione Civile ha iniziato un programma di identificazione e monitoraggio di edifici a rischio, sia in muratura che in calcestruzzo armato, in collaborazione con il consorzio ReLUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica) creando l'Osservatorio Sismico delle Strutture (OSS) che, al momento della stesura di questa Tesi, è costituito da 123 manufatti, finalizzandosi più verso una attività di ricerca che verso uno strumento di catalogazione su larga scala (ReLUIS, 2005).

Tutto ciò ha procurato una ingente mole di dati, che ha portato alla ideazione e alla costruzione di vari "contenitori", per lo più organizzati in forma di generiche banche dati, con lo scopo di indagare i differenti aspetti legati al rischio sismico: materiali, tipologie strutturali, meccanismi di danneggiamento e rottura osservati, efficacia delle tecniche di riparazione e rinforzo, ecc..

Tali banche dati sono di solito focalizzate su particolari tipologie di beni storici, con un livello di dettaglio rapportato allo scopo delle indagini. Ad esempio, in una ricerca sull'analisi di vulnerabilità dei centri storici condotta da gruppi di ricerca delle Università di Padova e Milano e supportata dalla Protezione Civile (Binda et al., 2004), le informazioni relative a costruzioni in muratura sono state raccolte in una banca dati contenente la storia, i dati geometrici d'insieme e della muratura, la rappresentazione del sistema strutturale, gli interventi di riparazione, la descrizione dettagliata dei danni ed interpretazione meccanica dei processi di danno o collasso.

Questo studio ha permesso la definizione di un abaco dei meccanismi tipici di rottura/collasso che si presentano in diversi tipi di edifici in muratura in caso di eventi sismici, in funzione di eventuali interventi precedenti di restauro strutturale (Binda et al., 2006a). Un simile approccio è stato intrapreso per diversi tipi di strutture (Drdácký et al., 2005; El Harrouni, 2005; El Harrouni, 2008) e anche per strutture in adobe, sviluppando, da indagini in sito, un abaco dei tipici meccanismi di rottura (Argumedo, 1993; Roselund, 1990; Tolles, 1993; Tolles et al., 2002). Questi studi contengono una revisione critica delle tecniche di intervento tradizionali e, implicitamente, le indicazioni per lo sviluppo di interventi, tecnologie e misure di salvaguardia per il patrimonio storico.

Al fine di sfruttare il potenziale offerto da questo bagaglio di conoscenza occorre innanzitutto collegare le informazioni provenienti dalle diverse banche dati in rapporto alla relazione tra tipologie ed elementi strutturali e i meccanismi di rottura, includendo anche i metodi di valutazione e gli strumenti per le indagini e di monitoraggio in sito, già disponibili in letteratura (Maierhofer et al., 2006). Sempre in letteratura sono inoltre disponibili valutazioni sulle proprietà di alcuni materiali (duttilità, capacità di dissipazione di energia, ecc..) e sulle tecniche di intervento usate fino ad oggi, ricavate principalmente da test di laboratorio.

Inoltre, le condizioni al contorno, i vincoli e lo stato delle connessioni sono molto importanti per comprendere il comportamento sismico di un edificio, ma i loro effetti sono raramente stati indagati ed ancor meno riportati nelle banche dati esistenti.

Alla fine del 2009 è stato avviato, su iniziativa di un gruppo di ricerca dell'Università di Padova, il progetto triennale internazionale NIKER (New Integrated Knowledge-based approaches to the protection of cultural heritage from Earthquake-induced Risk) con lo scopo di supplire sia alle lacune sulla conoscenza tecnica del comportamento degli edifici storici soggetti ad azioni sismiche, sia alla mancanza di un adeguato strumento pratico utile sia per raccogliere che per mettere in relazione tutto il materiale disponibile.

La presenza all'interno del progetto di 18 partner internazionali appartenenti a 12 paesi europei e dell'area del Mediterraneo ha consentito di disporre di dati relativi a molteplici tipologie e condizioni reali, arricchendo la casistica disponibile nel nostro paese. La Tabella 1 riporta la lista dei partecipanti al progetto NIKER, mentre la **Figura 1** mostra la distribuzione dei paesi di appartenenza.

Figura 2: Provenienza dei partecipanti del progetto NIKER (NIKER, 2009)

Tabella 1: Lista dei partecipanti al progetto NIKER (NIKER, 2009)

Logo	Nome partecipante	Nazione
	Università degli Studi di Padova http://www.unipd.it	Italia
	Federal Institute for Materials Research and Testing http://www.bam.de	Germania
	Institute of Theoretical and Applied Mechanics http://www.itam.cas.cz	Repubblica Ceca
	National Technical University Athens http://www.civil.ntua.gr	Grecia
	Politecnico di Milano http://www.polimi.it	Italia
	Universidade do Minho www.civil.uminho.pt/masonry	Portogallo
	Universitat Politecnica de Catalunya http://www.upc.edu	Spagna
	University of Bath http://www.bath.ac.uk	Regno Unito
	GAZI UNIVERSITY http://www.gazi.edu.tr	Turchia
	ECOLE NATIONALE D'ARCHITECTURE http://www.archi.ac.ma	Marocco
	CAIRO UNIVERSITY http://www.cu.edu.eg	Egitto
	ISRAEL ANTIQUES AUTHORITY http://www.antiquities.org.il	Israele
	BOZZA LEGNAMI Srl http://www.bozzalegnami.it	Italia
	CINTEC International Ltd http://www.cintec.com	Regno Unito
	INTERPROJEKT d.o.o. http://www.interprojekt.ba	Bosnia-Erzegovina
	S&B Industrial Minerals S.A. http://www.sandb.com	Grecia
	ZRS - Ziegert Seiler Ingenieure http://www.zrs-berlin.de	Germania
	MONUMENTA Conservação e Restauro do Património Arquitectónico, Lda http://www.monumenta.pt	Portogallo

All'interno del progetto NIKER è stato redatto un programma sperimentale sia in laboratorio che in situ per approfondire le indagini sulle situazioni poco o per nulla trattate in letteratura. Al tempo stesso è stato ideato uno strumento informatico che potesse essere utile sia per scopi di ricerca sia per i professionisti, quali utilizzatori ultimi. Si è rivelato palese fin da subito che una semplice banca dati non sarebbe stata sufficiente a soddisfare le esigenze richieste, perché sarebbe stata destinata, in quanto elemento passivo di consultazione, ad essere presto dimenticata. Era necessario uno strumento che potesse anche agevolare le analisi dei dati e, nei limiti del possibile, suggerire delle possibili soluzioni. Ne è derivata quindi la necessità di creazione di un "data warehouse" che, mediante la raccolta, la riorganizzazione e l'analisi dei dati già disponibili in altre fonti in modo frammentato e non strutturato, od organizzati in relazione solo ad alcuni parametri, possa generare nuove e differenti correlazioni tra i fattori in gioco, permettendo così di ottimizzare l'uso del più aggiornato stato dell'arte per la selezione e lo sviluppo di materiali e tecnologie maggiormente appropriate alla conservazione del costruito.

L'oggetto di questa Tesi è l'ideazione, la realizzazione e l'utilizzo del "data warehouse" NIKER e le attività svolte possono essere suddivise in sette livelli, che rappresentano anche gli scopi che questo lavoro si è prefisso.

La prima attività è stata la raccolta del materiale disponibile in letteratura e l'analisi delle banche dati esistenti, sia su supporto cartaceo che informatico.

La seconda attività è stata quella di riorganizzare le tipologie costruttive, gli elementi costruttivi e le tipologie dei materiali secondo categorie funzionali alla innovativa struttura logico-organizzativa del "data warehouse". È importante puntualizzare il fatto che lo scopo dell'attività non è quello di raccogliere e riportare lo stato dell'arte, bensì quello di identificare delle macro-categorie di oggetti con comportamenti statici e risposte sismiche affini, idonee ad essere messe in relazione dal sistema informatico con gli altri elementi in esso presenti. Nel Capitolo 1 vengono riassunte le categorie che sono state individuate con questo criterio, sia per le tipologie costruttive che per i materiali e gli elementi costruttivi.

Nel Capitolo 2 è presentata la revisione dei parametri e degli indicatori di rendimento prestazionale sia misurabili che descrittivi, terza attività del lavoro. Rispettando il sistema di categorie proposto dal "data warehouse", sono stati identificati i parametri geometrici, fisici e meccanici misurabili che caratterizzano le tipologie di materiale identificate in precedenza e che permettono il confronto prima e dopo gli interventi. L'approccio "prestazionale", che pone al centro dell'azione progettuale le finalità dell'opera e non l'adozione di specifiche misure tecniche, è stato introdotto nelle già citate "Linee guida" del 2008 (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Circolare n. 26/2010). Tale Norma prevede, pur tenendo conto delle specificità, di adottare una progettazione strutturale orientata all'intero sistema resistente, e non solo al dimensionamento ed alle verifiche dei singoli componenti, riferita al completo sviluppo temporale dell'opera, tenendo conto di tutte le fasi che intercorrono dalla sua costruzione alla sua messa fuori servizio, ovvero la sua demolizione. La struttura deve essere considerata nel suo complesso come risultato di un processo globale, inserita in un contesto fornito da un ambiente e da una società verso cui non deve avere impatti negativi.

Anche i meccanismi di collasso sono stati raggruppati in categorie funzionali alla struttura dello strumento informatico riportate nel Capitolo 3. Come per gli altri elementi, lo scopo non è quello di fare un inventario di tutti i meccanismi rilevati in letteratura, ma di identificare le tipologie di meccanismo che rispondano agli eventi sismici con dinamiche simili.

La quinta attività è sviluppata nel Capitolo 4, dove sono descritti i principi di conservazione a cui gli interventi devono attenersi ed è descritta la catalogazione degli interventi inseriti nel "data warehouse", rispettandone la suddivisione per tipologia di elemento costruttivo. La partecipazione di ditte private in qualità di partner del progetto NIKER ha portato alla classificazione di interventi anche molto specifici e particolari, in taluni casi anche coperti da brevetto.

Il "data warehouse", la cui struttura è spiegata in dettaglio nel Capitolo 5 e che rappresenta la sesta attività e il fulcro del lavoro, definisce nel dettaglio le categorie riassunte nei capitoli precedenti per mezzo di descrizioni, schemi, parametri e indicatori di rendimento prestazionale e le mette in relazione col fine di identificare gli interventi più appropriati per ciascun caso tipo, rispettando l'idea di approccio "prestazionale" che tenga conto anche degli aspetti funzionali del manufatto.

Nel complesso sistema relazionale sviluppato nel "data warehouse", le pubblicazioni assumono un ruolo di particolare importanza. Da un lato ciascun valore di ciascun parametro deve necessariamente provenire da una pubblicazione, che ne garantisce così la validità scientifica. D'altra parte le pubblicazioni serviranno anche da elemento di correlazione tra i valori dei parametri, secondo un procedimento che verrà descritto in dettaglio nel paragrafo 5.4.

Il "data warehouse" si presenta come uno strumento fortemente interattivo, che mette a disposizione di professionisti esperti e ricercatori innumerevoli funzionalità, ciascuna delle quali approfondisce il dettaglio di conoscenza delle precedenti.

La prima di esse è la capacità di correlazione immediata tra tipologie di elementi, meccanismi di collasso e interventi, che rappresenta uno dei punti chiave del sistema. Questa funzionalità, ottenuta con una soluzione grafica che, per tipo di applicazione e finalità, è da ritenersi fortemente innovativa, consente l'individuazione degli interventi più appropriati da applicare in un determinato contesto, sulla base della conoscenza attuale.

Un altro risultato di grande rilievo è dato dalla capacità del sistema di correlare i parametri e gli indicatori di rendimento prestazionale che caratterizzano le tipologie di elementi, i meccanismi di collasso e gli interventi.

Ad un livello di approfondimento ancora maggiore, la correlazione interattiva può essere spinta fino ai valori dei parametri; attraverso lo sviluppo di un generatore di grafici dinamici, è consentito all'utente stesso di scegliere cosa e come correlare, offrendo un potente strumento di ricerca e analisi.

È opportuno mettere in evidenza che il sistema consente, se opportunamente alimentato con le informazioni ricavate da nuove esperienze, di perfezionare ed affinare la capacità di correlazione, contribuendo sempre più allo sviluppo di una conoscenza integrata.

Per garantire la massima condivisione della conoscenza, lo strumento è stato sviluppato con tecnologia web. In quest'ottica, e per garantire comunque la sicurezza delle informazioni, è stato sviluppato un sistema di gestione strutturato su diversi livelli, assegnando opportunamente i permessi di agire sui dati.

La **Figura 3** illustra lo schema metodologico del "data warehouse" per l'immissione e l'analisi dei dati e la **Figura 4** riporta lo schema metodologico per la scelta di uno specifico intervento.

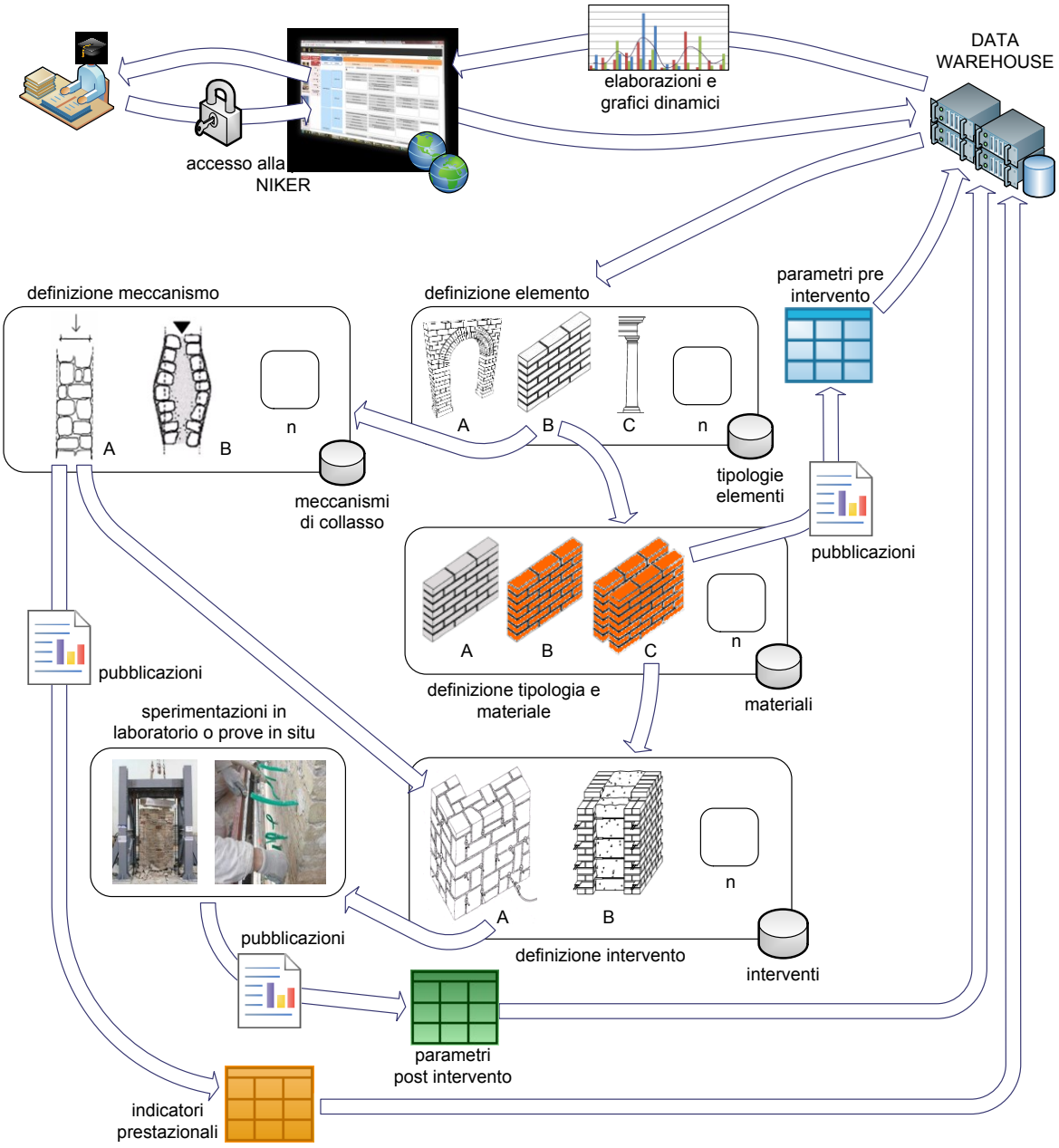


Figura 3: Schema metodologico del "data warehouse per l'immissione e l'analisi dei dati[5]

[5] Gli schemi degli interventi sono tratti da (Caleca et al., 1999; Valluzzi et al., 2005); le foto delle sperimentazioni sono tratte da (Modena et al., 2013; Modena et al., 2009a); gli schemi dei meccanismi di collasso sono tratti da (Doglioni et al., 2007; Giuffrè 1993)

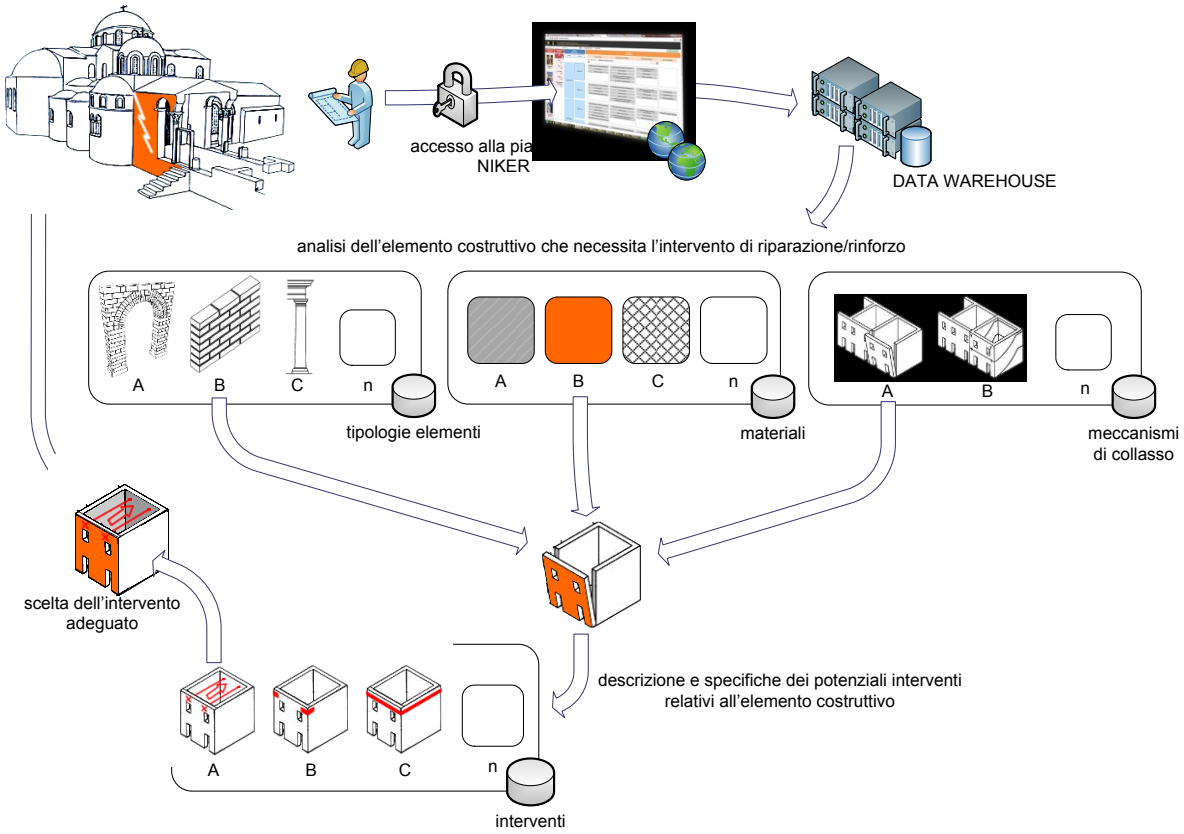


Figura 4: Schema metodologico del "data warehouse" per la scelta di uno specifico intervento[6]

Il "data warehouse" è stato pubblicato in lingua inglese ed è disponibile all'indirizzo:

http://niker.dicea.unipd.it

[6] La chiesa stilizzata è la ricostruzione della chiesa bizantina originale di St. Nicholas a Myra/Demre, Turchia [Sito 1]; gli schemi dei meccanismi di collasso sono tratti da (Giuffrè, 1993; Carrocci, 2001).

1 GLI EDIFICI STORICI: TIPOLOGIE, ELEMENTI E MATERIALI

Il primo passo, oltre ad una approfondita ricerca bibliografica, è stato quello di identificare tipologie ed elementi costruttivi, nonché i materiali usati nella costruzione degli edifici storici funzionali alle finalità e alla struttura del "data warehouse". Lo scopo di questa ricerca, infatti, è quello di mettere in relazione gli elementi con il loro tipo di risposta agli eventi sismici per identificare gli interventi compatibili e al tempo stesso efficaci per la mitigazione del danno. Tipologie, elementi e materiali sono così suddivisi in macro-categorie che ne definiscono al tempo stesso le finalità d'uso e il comportamento statico.

1.1 *LE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE*

Si è scelto di suddividere le tipologie costruttive in 4 gruppi per uniformità di scopo, morfologia strutturale e comportamento meccanico:

- Edifici e palazzi
- Edifici di culto
- Torri
- Elementi isolati

Nel "data warehouse" ciascuna tipologia è accompagnata da un'immagine rappresentativa secondo lo schema riportato qui a lato.

Si descrivono nel seguito le diverse categorie tipologiche dei manufatti storici in termini generali mettendo in evidenza gli aspetti funzionali che suggeriscono una tale suddivisione e rimandando ai capitoli successivi i dettagli sul comportamento strutturale.

1.1.1.1 *Edifici e palazzi*

Rientrano sotto questa voce i comuni edifici, gli edifici monumentali, i palazzi, i castelli o qualsivoglia aggregazione di queste categorie.

Da un punto di vista strutturale questa tipologia è costituita da manufatti che presentano un comportamento di tipo scatolare composto da elementi verticali e orizzontali e in cui gli elementi orizzontali hanno una funzione di distribuzione dei carichi, mentre gli elementi verticali hanno funzione portante.

Per "comuni edifici" si intendono abitazioni ordinarie e costruzioni rurali o anche costruzioni ad uso produttivo o per attività lavorative in genere, sia isolate che in complessi aggregati, come riportato in **Figura 5**.

a) b) c)

Figura 5: a) S. Gimignano (Italia); b) Civita di Bagnoregio (Italia); Il Borghetto (Italia)

Gli edifici monumentali sono costruzioni di particolare valore storico a cui è stato assegnato lo status di "monumento" e che vengono tutelate come tali. Molti palazzi fanno parte di questa categoria e la distinzione è spesso difficile. Di solito un palazzo nobiliare è monumentale, un palazzo di civile abitazione lo può diventare come testimonianza dell'evoluzione dello stile (**Figura 6**).

a) b) c)

Figura 6: a) Royal Albert Hall (Londra – Regno Unito); c) Palazzo della Ragione (Padova – Italia); Ara Pacis (Roma – Italia)

I palazzi sono unità abitative nobiliari o signorili il più delle volte costruiti dopo il 1600.

I castelli sono complessi architettonici originariamente nati a scopo difensivo e pertanto fortificati con mura e torrioni. Dopo la fine del medioevo hanno via via perso l'originario scopo difensivo per assumere unicamente il ruolo di unità abitative nobiliari o signorili.

Le continue modifiche che alcuni castelli hanno subito nel corso dei secoli hanno reso la distinzione tra palazzi e castelli a volte non così netta. Ne è un esempio il castello di Cardiff dove le originarie mura del forte romano sono state dapprima usate per la costruzione, in tempo medievale, del mastio centrale e successivamente di una torre e di un imponente corridoio fortificato di accesso, per poi essere ricostruite agli inizi del '900 per la volontà dell'allora proprietario. Tra i due eventi, una serie di modifiche tra i quali l'abbattimento del corridoio di accesso, la copertura del fossato del mastio e la costruzione di un maestoso palazzo signorile avevano reso il castello molto più simile ad un palazzo vero e proprio più che a un castello.

La **Figura 7** illustra alcuni palazzi e castelli.

a) b) c)

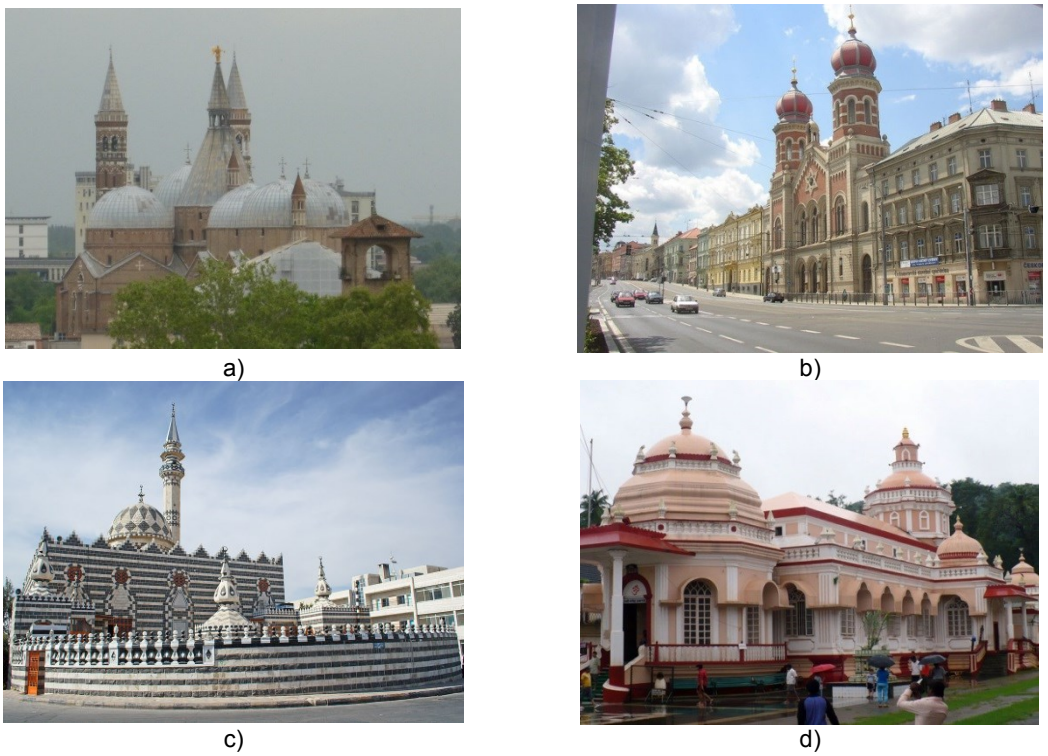
Figura 7: Esempi di palazzi e castelli: a) Reggia Venaria Reale (Torino – Italia) [Sito 2]; b) Castel Thun (Trento – Italia) [Sito 3]; c) Castello di Cardiff (Cardiff – Regno Unito) [Sito 4]

1.1.1.2 *Edifici di culto*

Sono comprese in questo gruppo le chiese, le moschee, le sinagoghe, i templi e tutti gli altri edifici adibiti alle riunioni di culto.

Sono per lo più caratterizzati dall'assenza di diaframmi intermedi orizzontali e dalla presenza di elementi caratteristici quali ad esempio transetti, cupole, absidi, facciata, arco trionfale, ecc. Questa peculiarità si riflette in un comportamento meccanico a seguito di eventi sismici che evidenzia meccanismi di rottura caratteristici. Il comportamento sismico di questa tipologia di manufatti può essere interpretato, infatti, come combinazione delle risposte dei suoi macroelementi, dal comportamento strutturale prevalentemente autonomo (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Circolare n. 26/2010).

Le foto seguenti riportano alcuni edifici di culto in cui è possibile notare alcune peculiarità che ne identificano l'ambito religioso di appartenenza.



a) b)

c) d)

Figura 8: a) Basilica di S. Antonio (Padova – Italia); b) Grande Sinagoga Pizen (Praga – Repubblica Ceca) [Sito 5]; c) Moschea Abu-Darwish (Amman – Giordania) [Sito 6]; d) Tempio indù (Mangeshi – India) [Sito 7]

L'elemento comune che caratterizza funzionalmente gli edifici appartenenti a questa categoria è la presenza di un'ampia sala adibita alla riunione dei fedeli, che a volte ne occupa quasi interamente la pianta. Questo influenza direttamente l'ampiezza delle coperture e la maestosità delle arcate e delle murature perimetrali e si riflette in un modello strutturale caratterizzato da ampi vuoti e masse concentrate.

1.1.1.3 *Torri*

Rientrano in questo gruppo i campanili, i minareti, le torri e tutte le strutture con un alto rapporto tra larghezza di base e altezza (**Figura 9**).

a) b) c)

Figura 9: a) Torre degli Asinelli (Bologna – Italia) [Sito 8]; b) Torre dei Chierici (Porto – Portogallo) [Sito 9]; c) Torre di Pisa (Pisa – Italia) [Sito 10]

Tali strutture sono progettate per resistere ad alte sollecitazioni alla base. Il sistema di connessioni verticali può essere sia all'interno dei muri che all'interno della torre stessa e, a volte, la presenza di interpiani contribuisce alla distribuzione del carico sui muri portanti.

Si possono trovare torri completamente isolate, oppure connesse ad un manufatto di altezza inferiore. Questo influisce notevolmente sul comportamento della struttura e va valutato con attenzione, a volte considerandone solo la parte libera superiore. Va valutata con attenzione anche la presenza di celle campanarie o di elementi che introducono una variazione nella distribuzione delle aperture o una concentrazione di massa

1.1.1.4 *Elementi isolati*

Sono riuniti qui le colonne singole, i mezzi di mura di cinta e tutti i resti di monumenti che non sono assimilabili, in termini di comportamento statico, a strutture vere e proprie. I resti di antichi edifici sono di solito costituiti da parti di muri o colonne senza connessione orizzontale (**Figura 10**).

a) b)

Figura 10: a) Foro Romano (Roma – Italia); b) Ala dell'Arena (Verona – Italia) [Sito 11]

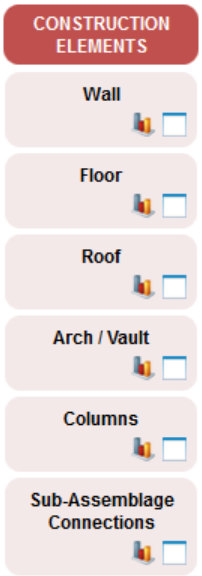
Questi elementi hanno mantenuto inalterate le proprie caratteristiche meccaniche oltre che la loro posizione e conservano traccia dell'organizzazione della struttura originaria e informazioni preziose sull'uso dei materiali.

Fanno parte di questo raggruppamento anche quelle parti di monumento che, pur avendo una connessione con il resto della struttura, risultano completamente indipendenti nella risposta meccanica alle sollecitazioni.

1.2 *GLI ELEMENTI COSTRUTTIVI E I MATERIALI*

La distinzione tra le categorie di elementi costruttivi degli edifici coinvolge esclusivamente l'aspetto statico-funzionale, secondo quanto richiesto dalla struttura del "data-warehouse". Si distinguono quindi gli elementi verticali con o senza funzione portante, gli elementi orizzontali di collegamento o sostegno, gli archi e le volte, e gli elementi di connessione.

Fanno parte degli elementi verticali i muri e le colonne (intese come colonnato, non come strutture isolate), mentre degli elementi orizzontali i solai e le coperture. Gli archi e le volte sono raggruppati in una medesima categoria funzionale, mentre le colonne isolate e gli elementi di connessione rappresentano delle categorie a sé stanti.



Per riassumere, gli elementi costruttivi sono suddivisi nelle seguenti categorie:

- Muri
- Solai
- Coperture
- Archi e Volte
- Colonne
- Connessioni e sotto-assemblaggi

La natura del materiale e il suo stato di conservazione hanno un ruolo fondamentale per la capacità della muratura di resistere ad azioni sismiche. Più che le caratteristiche meccaniche del singolo blocco, è la risposta dell'elemento strutturale nel suo insieme a garantirne la stabilità (Borri et al., 2009).

Ecco dunque che diventano importanti fattori quali geometria, tessitura, caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche di pietra, malta e mattoni, nonché le caratteristiche di materiale composito proprie del complesso murario (Binda et al., 2000a).

1.2.1 Elementi verticali

La risposta meccanica degli elementi verticali sottoposti a sollecitazioni dinamiche quali quelle sismiche dipende da molti fattori. In particolare, se si considerano resistenza meccanica e comportamento in campo elastico possiamo individuare tre grandi categorie di materiali resistenti storicamente usati per le costruzioni che sono, considerando livelli resistenza crescenti, terra, mattoni in laterizio e pietra. Occorre tenere presente anche che sovrapposizioni tra queste categorie non solo sono possibili, ma talvolta frequenti, soprattutto negli edifici più antichi.

Gli elementi verticali possono essere monolitici con struttura omogenea o a struttura composta (muratura) e l'estrema variabilità di materiali e metodologie è legata al fatto che nell'antichità la fonte di materiale era per lo più locale.

1.2.1.1 *Elementi a struttura omogenea*

Le due tipologie più diffuse di elementi a struttura omogenea sono la terra battuta (francese: pisé, inglese: rammed earth) e il "cob" (francese: bauge), termine inglese che non ha corrispondenze in italiano. Entrambe devono essere considerate più metodologie costruttive che materiali in sé.

Per le costruzioni in terra battuta sono usate delle casseforme riempite di terra con una distribuzione granulometrica ampia ma poco assortita a basso contenuto di umidità (al di sotto del limite di plasticità). L'estensione granulometrica si estende dall'argilla alla ghiaia e la particolare distribuzione consente alti gradi di compattazione nella cassaforma.

Forma e dimensione della cassaforma variano con il luogo di produzione e la tradizione locale. Le più comuni sono in legno di piccole dimensioni per favorire la maneggevolezza e la versatilità. In caso in cui i muri da costruire siano di ampie dimensioni si costruiscono un pezzo per volta. In questo caso e in funzione del grado di compressione e del contenuto d'acqua possono essere ben visibili le linee di giunzione, orizzontali e/o verticali, tra le porzioni di muro, come ad esempio nelle foto di **Figura 11**. Anche in presenza di eventuali linee di giunzione si considera comunque la struttura omogenea.

a) b)

Figura 11: Lesioni strutturali in costruzioni storiche in terra battuta: a) Forte Basgo (Ladakh – India); b) Precettoria (Ambel – Spagna). (Jaquin, 2008a) [Sito 12]

Alcune tradizioni locali, soprattutto di Spagna e Portogallo, riportano anche dell'uso di calce viva nell'impasto di terra battuta (Jaquin et al., 2007; Sebastián et al., 2010). La miscelazione può essere fatta a priori oppure inserendo strati alternati di terra e calce nella cassaforma.

Talvolta tra i giunti di costruzione vengono inseriti mattoni o pietre, oppure della paglia, nel caso di terra soggetta a forte calo, per evitare eccessive influenze in fase costruttiva tra i diversi momenti di esecuzione. In questo caso la distribuzione a strati è ancor più evidente.

Distribuzione granulometrica, contenuto di umidità, compattezza e quantità e tipologia di inserti contribuiscono anche a caratterizzare le proprietà fisiche e meccaniche della terra battuta (Vargas-Neumann, 1993).

La densità apparente della terra battuta senza inserti in paglia può variare da 1.6 a 2.3 kg/dm^3, mentre la resistenza a compressione è stata misurata (Röhlen et al., 2010) tra 1.5 e 3.0 MPa. In caso di inserti in paglia l'intervallo di valori misurati di densità apparente si assottiglia un po', variando tra 1.7 e 2.1 kg/dm^3, mentre la resistenza a compressione aumenta considerevolmente raggiungendo valori tra 2.0 e 11.0 MPa (Jaquin et al., 2007; Sebastián et al., 2010).

Se da un lato è evidente che in caso di inserti orizzontali il materiale risulti decisamente anisotropo, nel caso di assenza di inserti anche la particolare costruzione ad elementi consecutivi non ne altera l'isotropia. Le differenze nel valore del modulo elastico, ad esempio, sono limitate al 10% (Bui et.al., 2009).

Anche il "cob", più che un materiale indica un processo costruttivo in cui la terra, la cui granulometria non supera di solito quella della sabbia, viene mescolata alla paglia e ad altre fibre vegetali con una contenuto di fibre fino a 25 kg per ogni metro cubo di terra. La lunghezza delle fibre varia tra i 30 e i 50 cm (Houben et al., 1994).

Il processo di lavorazione del "cob" non include l'uso di casseforme ed è abbastanza complesso. La terra viene dapprima plasticizzata con acqua e poi mescolata alle fibre vegetali. L'impasto così ottenuto viene disposto a mano in cumuli di altezza di poco inferiore al metro lungo tutto il profilo del muro da costruire e poi tagliato con l'ausilio di una vanga.

I valori di densità apparente sono inferiori a quelli della terra battuta per il notevole contenuto di fibre vegetali. I valori misurati in letteratura variano tra 1.2 e 1.7 kg/dm^3 (Ziegert, 2000; Schröder, 2010). Anche la resistenza a compressione ed il modulo elastico sono inferiori a quelli tipici della terra battuta, variando il primo tra 0.5 e 1.5 MPa e il secondo tra 0.2 to 0.5 GPa.

Figura 12: Costruzione di un tratto di muro in "cob" e costruzione storica in "cob" in Germania (Röhlen et al., 2010)

Le strutture in "cob" sono le più esposte al deperimento per cause ambientali. L'acqua diventa un pericolo sia a seguito di inondazione anche lieve, sia per infiltrazione dal tetto, mentre la notevole quantità di fibra vegetale favorisce il proliferare di insetti che scavano cunicoli, impattando negativamente sulla resistenza meccanica del materiale.

1.2.1.2 *Elementi a struttura composta*

Quando gli elementi verticali presentano una struttura non monolitica si parla genericamente di muratura, definita come un materiale composito e non omogeneo costituito da elementi più o meno squadrati (mattoni) uniti con un legante (malta). Quando il legante è assente si parla di "muri a secco", ma è una situazione che si verifica raramente nelle costruzioni a scopo abitativo e monumentale.

Il comportamento meccanico viene valutato globalmente, anche se gli aspetti critici sono locali e legati alla poca resistenza del legante o alle superfici di connessione tra legante e mattone. Se una fragilità locale può sembrare un fattore di indebolimento, al tempo stesso può fornire la capacità di dissipazione di energia necessaria ad evitare crolli sotto azioni sismiche.

In genere, la valutazione della resistenza e del comportamento statico delle costruzioni in muratura è sempre molto delicata e complessa, e necessita di approfondimenti di aspetti che vanno dalla natura del materiale fino al metodo costruttivo.

I leganti maggiormente utilizzati nell'antichità sono la calce, il gesso e la terra. Solo negli ultimi due secoli sono stati perfezionati i moderni cementi.

Il gesso, usato in tempi antichi come legante, è ora impiegato per scopi decorativi o come stucco.

La calce è ottenuta per cottura del calcare ad alte temperature (800 – 1000 °C), ed era già conosciuta da Fenici e Romani. Ne è una testimonianza preziosa Vitruvio che nel suo De Architectura dedica un capitolo intero alla produzione della calce. L'autore latino dedica anche un capitolo alla "*polvere puteolana*" che, secondo la traduzione volgare di Cesare Cesariano del 1521 (Cesariano, 1521), "*fa naturalmente cose mirande"* e *"commixta con la calce et pietre caementiciae non solamente in li altri aedificii praesta le firmitate, ma anchora le gran magnitudine quale si construveno in mare soto l'aqua fa che se consolidano*". Ed è proprio la capacità di far presa in acqua che ha fatto della pozzolana una scoperta rivoluzionaria nel campo dell'edilizia.

Un altro tipo di malta molto usato era prodotto mescolando alla calce il "cocciopesto", ovvero una polvere derivata dalla frantumazione di laterizi, che conferiva carattere idraulico alla malta, anche se in misura minore rispetto alla pozzolana. La facile reperibilità del laterizio e la notevole durabilità della malta così ottenuta ne giustificano senz'altro l'uso estremamente diffuso.

Esistono in letteratura riscontri di malte pozzolaniche nei monumenti in Italia e in altri paesi europei (Binda et al, 1984a; Binda et al., 1988a). Gli stessi autori (Baronio et al., 2000), sulla base di questa scoperta, hanno studiato nuove malte basate su calce idraulica e ne hanno testato le caratteristiche fisiche e meccaniche per un periodo di oltre tre anni.

Le malte di terra sono considerate i leganti di minor qualità e molto spesso veniva comunque aggiunta della calce all'impasto per aumentarne la resistenza meccanica.

La Tabella 2 riporta uno schema delle principali malte con alcune caratteristiche fisiche e meccaniche.

Tabella 2: Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche dei principali tipi di malte (Schäfer et al., 1993; Houben et al., 1994; Müller et al., 2008; Magalhães et al., 2009; Schubert, 2009)

Tipo di legante	Resistenza a compressione (MPa)	Modulo elastic (GPa)	Comportamento
Terra	0.5 - 3	< 1	Molto sensibile all'acqua, alto calo in volume, indurimento lento per essiccazione
Calce idrata	0.5 - 3	1 - 5	Sensibile all'acqua, calo in volume da moderato a alto, lenta presa per essicazione, indurimento molto lento per carbonatazione
Calce idraulica	2 - 10	5 - 15	Stabile in acqua, calo in volume moderato, indurimento lento per reazione con acqua e carbonatazione
Cemento Romano	5 - 20		Stabile in acqua, basso calo in volume, presa molto rapida e indurimento lento per reazione con acqua
Cemento Portland	10 - 50	20 - 30	Stabile in acqua, basso calo in volume, presa e indurimento molto rapidi per reazione con acqua
Gesso	2 - 15	< 5	Sensibile all'acqua, presa e indurimento rapidi (semi-idrato), presa e indurimento lenti (anidro)

I blocchi costituenti la muratura presentano una estrema variabilità sia in relazione ai materiali, che alle forme e alle caratteristiche di resistenza meccanica.

Il più diffuso elemento usato nelle murature è senz'altro la pietra. Le pietre naturali si dividono in magmatiche, sedimentarie e metamorfiche. A causa del loro processo di formazione, le sedimentarie e le metamorfiche possono presentare una marcata anisotropia nelle proprietà fisiche e meccaniche. La Tabella 3 riassume alcune caratteristiche meccaniche e la porosità delle principali tipi di pietre.

Tabella 3: Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche dei principali tipi di pietre (Grimm, 1990; Warnecke, 1998; Schubert, 2009)

Pietra		Resistenza a compressione (MPa)	Resistenza a flessione (MPa)	Modulo elastico (GPa)	Porosità vol-%
Magmatica	Granito	80 – 300	10 – 30	35 – 80	0.1 – 2
	Basalto	160 – 400	15 – 25	50 – 100	0.7 – 29
	Tufo	5 – 40	1 – 4	4 – 10	20 – 50
Sedimentaria	Arenaria silicea	60 – 250	7 – 20	10 – 70	1 – 29
	Arenaria carbonatica o argillosa	15 – 150	3 – 15	5 – 30	
	Calcare (poroso)	20 – 90	5 – 8	5 – 20	0.1 – 35
	Calcare (denso), Dolomia	80 – 90	6 – 15	15 – 80	
Metamorfica	Gneiss	70 – 260	8 – 30	25 – 80	0.5 – 4
	Marmo	40 – 300	6 – 15	15 – 80	0.4 – 2

Come mostrato in tabella, la porosità della pietra naturale presenta un alto grado di variabilità. Elevati gradi di porosità rendono la pietra maggiormente suscettibile ai meccanismi di degrado e ne diminuiscono la resistenza meccanica, ad eccezione del travertino e di qualche lava basaltica che, nonostante la presenza di macro-porosità, presentano elevati gradi di resistenza. La porosità influenza positivamente anche i valori di adsorbimento della pietra con una ulteriore perdita di resistenza meccanica (Schubert, 2009).

Le alterazioni di origine ambientale rappresentano quindi un elemento critico per le costruzioni storiche causando, nei casi più gravi, riduzione di spessore delle murature, lesioni e conseguenti rotture per ribaltamento.

Il tipo di bocco usato nelle murature, secondo alla pietra per diffusione, è il mattone in laterizio. Ottenuto da argilla cotta in forno presenta caratteristiche fisiche e meccaniche variabili in funzione sia della composizione dei materiali di partenza, sia del procedimento di realizzazione (Egermann et al., 1989).

Alcune indicazioni sui valori di resistenza meccanica sia di pietre naturali che di mattoni realizzati verso la metà del diciannovesimo secolo, sono riportate ne “L'arte di fabbricare, ossia Corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gli Ingegneri, per Periti in Costruzione e pei Periti Misuratori”, opera fondamentale dell’ingegneria ottocentesca italiana (Curioni, 1868). Le tabelle seguenti riportano i valori di resistenza a compressione pubblicati da Curioni per i mattoni in laterizio suddivisi per tipologia e luogo di provenienza.

Tabella 4: Resistenza a compressione e densità dei mattoni (Curioni, 1868)

MATTONI	Peso specifico [kg/dm^3]	Resistenza a compressione [kg/cm^2]
Mattoni crudi		33
Mattoni poco cotti (albasi)	2.09	40
Mattoni cotti a giusto grado (mezzanelli)	2.17	60
Mattoni il cui grado di cottura supera di un poco il giusto grado (forti)	2.10	70
Mattoni troppo cotti (ferrioli)	1.56	150

Tabella 5: Resistenza a compressione dei mattoni impiegati per la costruzione del Canale Cavour (Curioni, 1868)

PROVENIENZA DEI MATTONI	Qualità	Resistenza a compressione [kg/cm^2]
Fornaci della cascina Arizza presso Chivasso	Mezzanelli Forti Mezzanelli per volti Forti per volti	76 100 76 114
Fornaci di Castelrosso nel territorio di Chivasso	Mattoni per volti	152
Fornaci di Torrazza	Mezzanelli Forti Quasi ferrioli Mezzanelli per volti Forti per volti	96 118 141 143 200
Fornaci di San Giacomo	Mattoni per volti	144
Fornaci di Lamporo	Mattoni per volti	154
Fornaci di San Giovanni in territorio di Tronzano	Mezzanelli Forti Ferrioli	59 65 133
Fornaci della cascina del Cavallo in territorio di Tronzano	Mezzanelli Forti Ferrioli	48 62 150
Fornaci di Vettignè in territorio di Santhià	Mezzanelli Forti	89 112
Fornaci di Mirabella in territorio di Casanova	Mezzanelli Forti Ferrioli	111 159 191
Fornaci di Villarboit	Forti	99
Fornaci della cascina Carotta in territorio di Biandrate	Mezzanelli Forti	79 90
Fornaci di Camiano in territoro di Novara	Mezzanelli Forti	71 107
Fornaci del Teroppio in territorio di Novara	Mezzanelli Forti	66 80

Altre indicazioni storiche si trovano nel “Manuale dell’architetto” di Daniele Donghi (Donghi, 1905), che definisce i valori di resistenza per varie qualità di mattoni, aggiungendo anche informazioni sulla resistenza delle murature (Tabella 6).

Tabella 6: Resistenza a compressione di mattoni e murature (Donghi, 1905)

TIPO DI MATTONE	Resistenza a compressione [kg/cm2] MATTONE	Tensione ammissibile [kg/cm2] MURATURA
mattoni ordinari	150 - 200	6 - 8
mattoni scelti	200 - 250	8 - 10
mattoni durissimi	300 - 350	12 - 14
mattoni pieni porosi	100 - 150	4 - 6
mattoni vuoti porosi	50 - 80	2 - 3
mattoni galleggianti	15 - 25	0,75 - 1
mattoni forati o vuoti	100 - 150	4

La **Figura 13** riporta alcuni risultati di prove di resistenza a compressione su mattoni storici sempre del diciannovesimo secolo provenienti da un edificio parzialmente demolito. Il grafico mostra la grande variabilità nei valori di resistenza e porosità (densità apparente), anche se nessun valore di resistenza è inferiore a 10 MPa, come è tipico invece per i mattoni poco cotti. La porosità dei mattoni storici varia indicativamente tra il 20 e il 30% del volume e così come per la pietra naturale l’aumento di umidità nei mattoni in laterizio influenza negativamente le caratteristiche di resistenza meccanica (Fernandes et al., 2007).

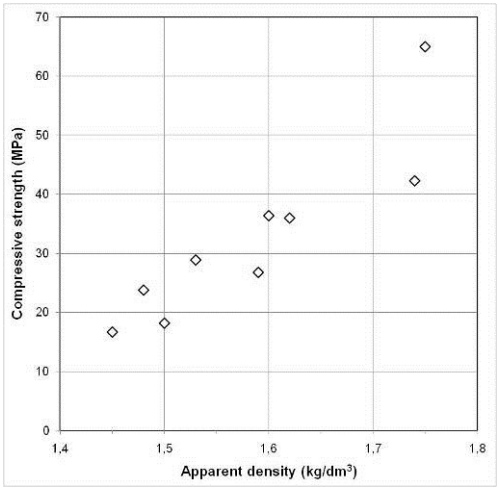


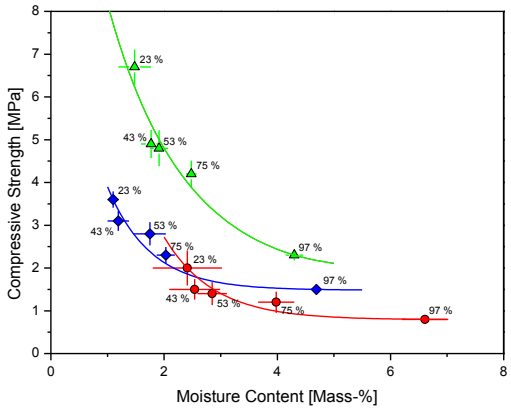
Figura 13: Grafico densità-resistenza su alcuni mattoni storici (Fernandes et al., 2007)

Numerose ricerche sono reperibili nella letteratura degli ultimi decenni sulle caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche dei mattoni antichi in relazione alle analoghe caratteristiche dei mattoni di nuova produzione usati negli interventi di restauro strutturale, per lo più svolta dal Politecnico di Milano (Baronio et al., 1982; Binda et al., 1984b). Lo stesso gruppo di ricerca riporta anche il risultato di indagini accurate sulla durabilità e la cristallizzazione dei mattoni, nonché sulla risposta a compressione di prismi di muratura costruiti con tipi differenti di malta, dalla calce idrata a miscele di calce e cemento fino a malte ad alta resistenza e resine epossidiche (Binda et al, 1985; Binda et al.,1988b; Binda et al., 1991 Binda et al., 1993).

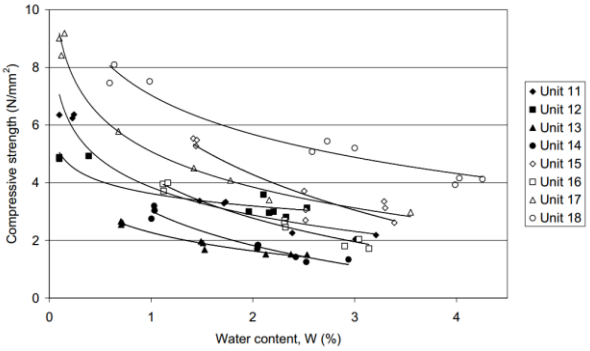
Parte dei risultati ottenuti sono stati adottati dal Canada nelle raccomandazioni per la mitigazione del rischio sismico nelle strutture esistenti in muratura (Technology Directorate Architectural & Engineering Services, 2000).

Un'ultima categoria di blocchi costituenti le murature, usata fin dalla preistoria, è costituita dai cosiddetti mattoni in terra cruda o "adobe". All'estrema facilità di reperimento del materiale e del processo di produzione si contrappone la scarsa resistenza meccanica. Tipici valori di resistenza a compressione di murature in "adobe" senza l'utilizzo di calce variano tra 1 e 5 MPa (Röhlen et al, 2010), mentre valori misurati del modulo elastico variano tra 0.4 e 2 GPa.

Una ulteriore fonte di criticità per i mattoni in terra è data dal contenuto di umidità. La diminuzione della già scarsa resistenza meccanica si fa in molti casi insostenibile ad elevate percentuali di umidità causando lo sgretolamento della muratura e il crollo della struttura, soprattutto in presenza di mattoni ad alto contenuto di sabbia (Müller et al, 2011; Lawrence et al, 2009). La **Figura 14** riporta il risultato di alcuni esperimenti su mattoni in terra in cui si evidenzia la drastica diminuzione di resistenza a compressione in funzione dell'aumento di umidità.



(Müller et al, 2011)



(Lawrence et al., 2009)

Figura 14: Dipendenza della resistenza a compressione in relazione al contenuto di umidità nei mattoni in terra (Müller et al, 2011; Lawrence et al., 2009)

Nella tabella seguente sono riportate alcune caratteristiche meccaniche di campioni prelevati da edifici costruiti con murature in mattoni di terra cruda (Silveira et al., 2012)

Tabella 7: Alcune caratteristiche meccaniche di campioni in terra cruda (Silveira et al., 2012)

Construction	Mean compressive strength (MPa)	Mean modulus of elasticity (MPa)	Mean strain at peak strength (‰)	Mean tensile strength (MPa)
Houses				
H_01	1.24	273	7	0.13
H_02	1.00	203	7	0.19
H_03	0.75	97	14	0.19
H_04	0.66	51	28	–
H_05	2.15	448	6	–
H_09	0.70	87	10	–
H_10	1.98	334	7	–
H_11	1.08	143	9	–
Land dividing walls				
W_01	0.94	138	8	–
W_02	0.83	117	9	0.13
W_04	0.99	200	6	0.12
W_05	1.72	340	8	0.40
W_06	1.25	209	8	–
W_07	0.80	94	10	–
W_09	1.05	114	14	–
W_10	0.98	127	11	–

L'utilizzo dei mattoni in pietra è ancora estremamente attuale soprattutto nei paesi poco sviluppati. La foto in **Figura 15** mostra la fase di essiccazione di mattoni in terra cruda a Moli Haussa in Niger. La foto è stata scattata verso la metà della stagione secca, periodo ideale per temperatura ed esposizione per un processo ottimale.

Figura 15: Produzione di mattoni in terra essiccati al sole (Moli Haussa – Niger)

1.2.1.3 *Le tipologie murarie*

1.2.1.3.1 MURATURE IN LATERIZIO

La tipologia di muro più frequente nell'antichità è in mattoni, a più paramenti, con diatoni di collegamento. Comunemente, i muri avevano una larghezza alla base di 450 mm che poteva ridursi a 300 mm nei piani superiori. I muri più antichi superano queste misure arrivando anche a 600 mm e oltre di larghezza di base. In questo caso i mattoni potevano essere disposti anche solo nei due strati esterni, mentre l'interno era riempito di materiale incoerente, principalmente per economicità di realizzazione (Tedeschi, 2004). Anche in questo caso, comunque, la presenza di diatoni garantiva la compattezza della sezione.

Anche i giunti in malta presentano una variabilità elevata, rendendo ardua una classificazione completa delle tipologie murarie. In generale, tipologie differenti sono legate a luoghi e periodi differenti. Un'indagine su mura romane a Milano e mura bizantine a Ravenna (Tedeschi, 2004) ha suggerito una generica suddivisione tra muri a giunti sottili, muri a giunti spessi e muri a paramenti multipli con diversi spessori dei paramenti. La **Figura 16** riporta un schema della suddivisione proposta.

La disposizione dei mattoni è anch'essa molto variabile e dipende in primo luogo dallo spessore del muro. Secondo Giuffrè, vi è una tecnica muraria appartenente alla tradizione colta legata all'astrazione geometrica che risponde a regole rigorose nella preparazione e disposizione degli elementi. Questa tecnica si avvale di elementi squadrati, l'*opus quadratus* romano, che Vitruvio riconduce alla muratura isodoma o pseudo-isodoma greca. I blocchi sono disposti con regolarità alternando elementi disposti di fascia con altri disposti con la lunghezza maggiore ortogonale al muro: i diatoni (Giuffrè, 1991).

La **Figura 17** e la **Figura 18** riportano alcuni schemi di distribuzione di mattoni nelle murature in funzione dello spessore del muro.

Talvolta paramenti di mattoni di elevata qualità di produzione vengono usate a copertura di spessi muri di mattoni dalle fattezze meno nobili. In questo caso diventa essenziale la presenza di diatoni per garantire una connessione sufficiente a rendere staticamente monolitica la sezione, come riportato in **Figura 19**. Nel bacino del Mediterraneo se ne ha un esempio nei distretti Fener e Balat di Istanbul, dove la muratura più frequente è costituita da un doppio paramento di mattoni compatti di dimensioni 210x105x50 mm, mentre un mattone più leggero e leggermente più grande (300x150x60 mm) è usato, a paramento singolo, per i balconi, i bovindi e talvolta nei piani superiori (D'Ayala, 2004b).

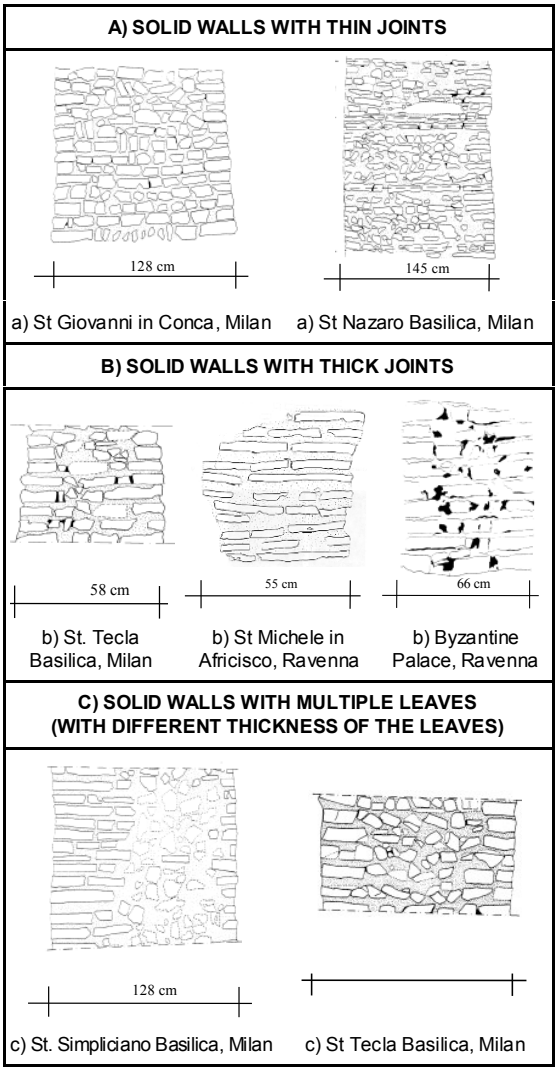


Figura 16: Esempi di sezione di murature (Tedeschi, 2004)

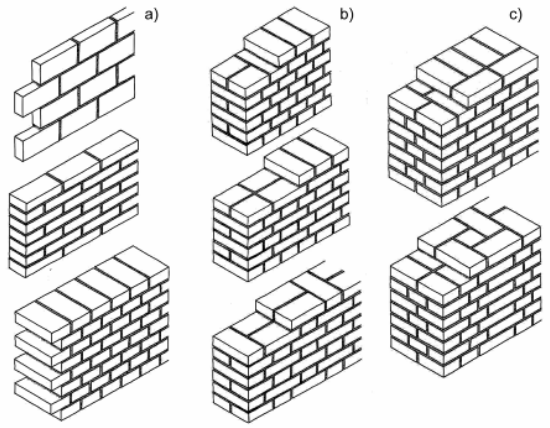


Figura 17: Schemi di disposizione dei mattoni all'interno della muratura: a) singolo mattone, b) due teste, c) tre teste

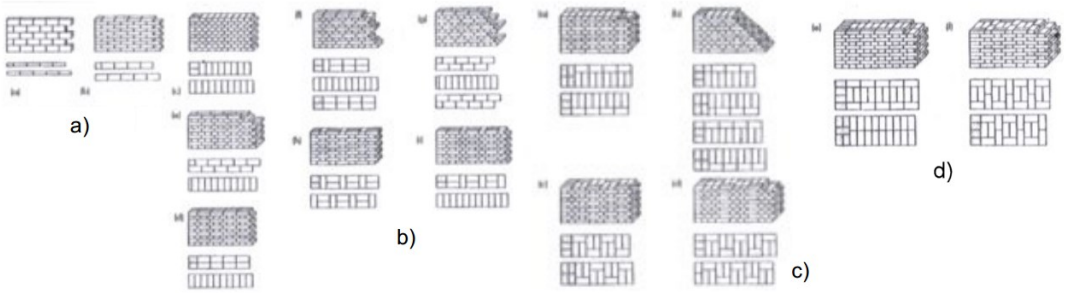


Figura 18: Disposizione dei mattoni in relazione allo spessore: a) singolo mattone, b) due teste, c) tre teste, c) quattro teste (Carbonara, 1996)

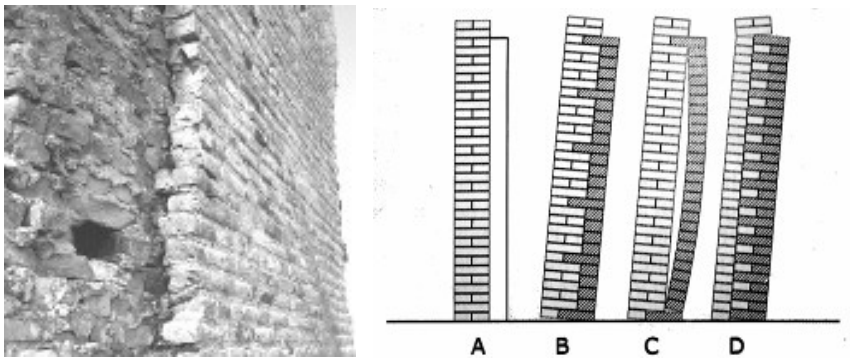


Figura 19: Paramento di mattoni a disposizione regolare a ricopertura di un muro con mattoni a disposizione non regolare (Binda, 2009a)

Un altro tipo di muratura piuttosto frequente è costituita da due paramenti con una intercapedine riempita di detriti, che è la parte che supporta il carico di esercizio. In questo caso, lo spessore è più grande che nei casi precedenti e la composizione sia dei paramenti che del riempimento varia sia con il luogo che con il periodo di costruzione (Binda et al., 1992). La **Figura 20** illustra una sezione del muro della torre civica di Pavia.

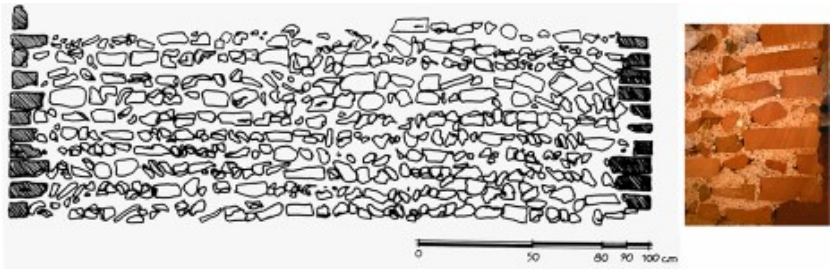


Figura 20: Sezione muraria della torre civica di Pavia (Binda et al., 1992)

1.2.1.3.2 MURATURE E PILASTRI IN PIETRA

Le tipologie delle murature in pietra possono essere suddivise in quattro grandi categorie: murature compatte a un paramento, murature a due paramenti, murature a tre paramenti e murature a secco (**Figura 21**).

Catalogazioni di murature in pietra sono reperibili in letteratura sia basate sulla percentuale di malta, pietre e vuoti misurate sull'area di una sezione longitudinale, sia sul numero di paramenti e sul tipo di connessione tra essi (Abbaneo et al., 1993; Binda, 2000b; Binda et al., 2003a; Binda et al., 2009b). Se il primo tipo di classificazione fornisce indicazioni sull'iniettabilità, le altre permettono di formulare valide ipotesi sul comportamento statico della muratura. Una classificazione di murature a singolo e multiplo paramento con una valutazione sull'importanza delle connessioni orizzontali per la corretta implementazione di modelli numerici è riportata da Giuffré (Giuffré, 1999).

La **Figura 22** riassume un'indagine di confronto tra fra i rapporti percentuali tra malta e pietra in muri in pietra nelle regioni italiane.

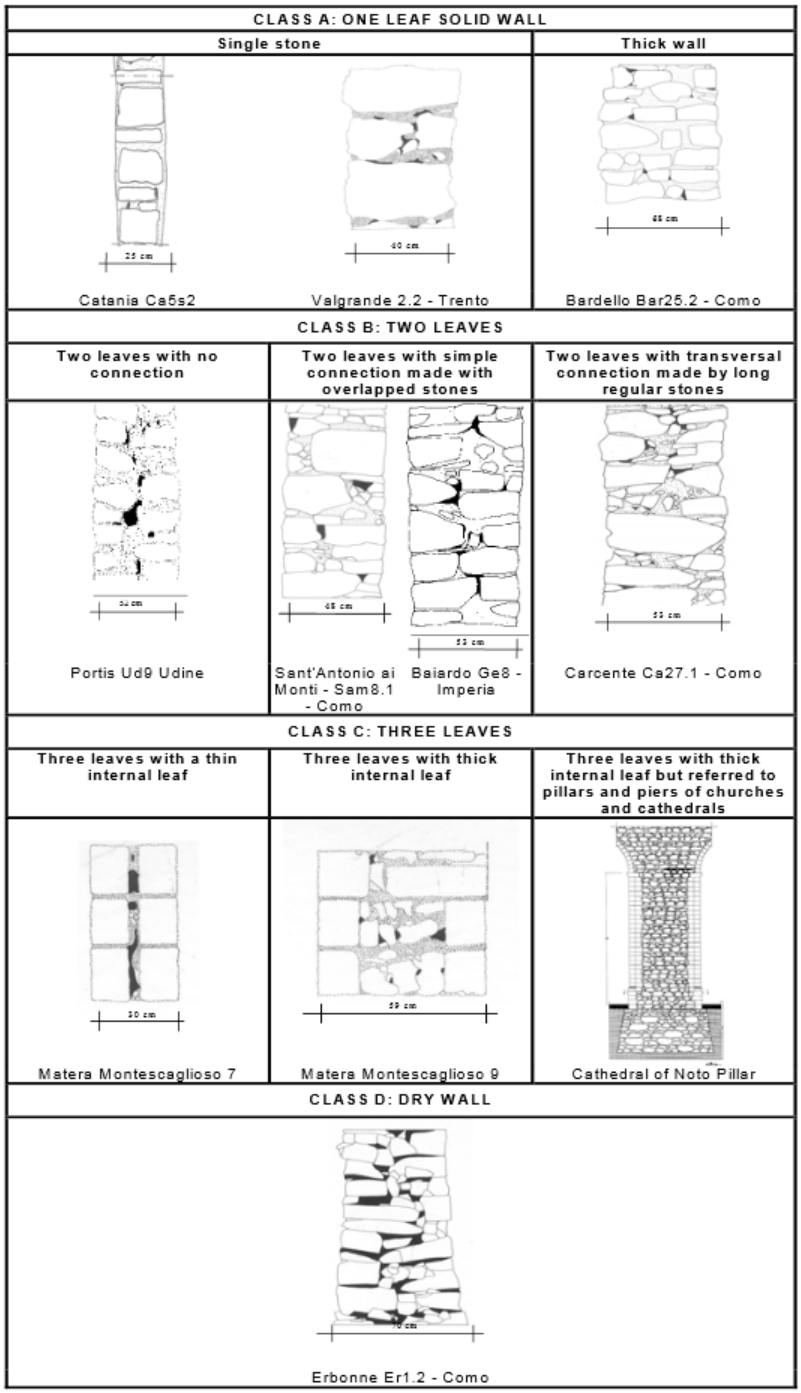


Figura 21: Possibili sezioni di una muratura in pietra (Binda, 2005)

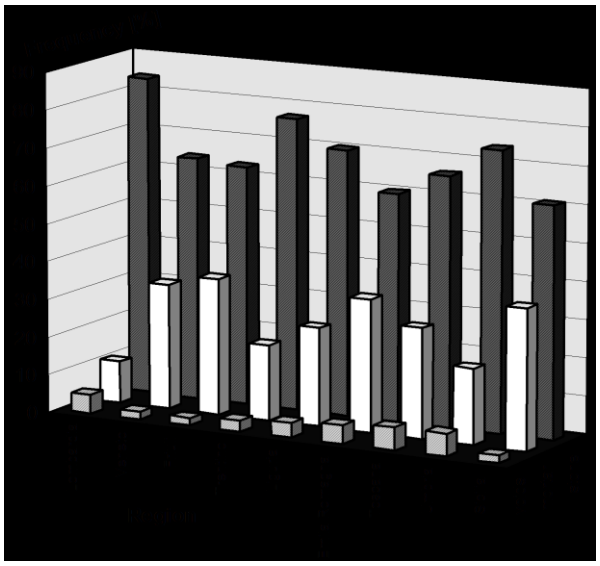


Figura 22: Confronto fra i rapporti percentuali tra malta e pietra misurati sull'area di una sezione trasversale in muri in pietra nelle regioni italiane (Binda, 2000b)

Sulla base di queste ricerche sono stati sviluppati numerosi cataloghi locali, spesso accompagnati da moduli regionali per la compilazione delle vulnerabilità sismiche, con classificazioni inizialmente basate sulla distribuzione dei mattoni in facciata e successivamente sulle tipologie di sezione (Ferrini et al., 2003; Francovich, 1988; Mannoni, 1994). Occorre ricordare anche che spesso la presenza di una tessitura regolare della facciata non corrisponde ad una morfologia regolare della sezione (Binda, 2000b; Binda, 2003a; Cardani, 2004), come illustrato in **Figura 23**.

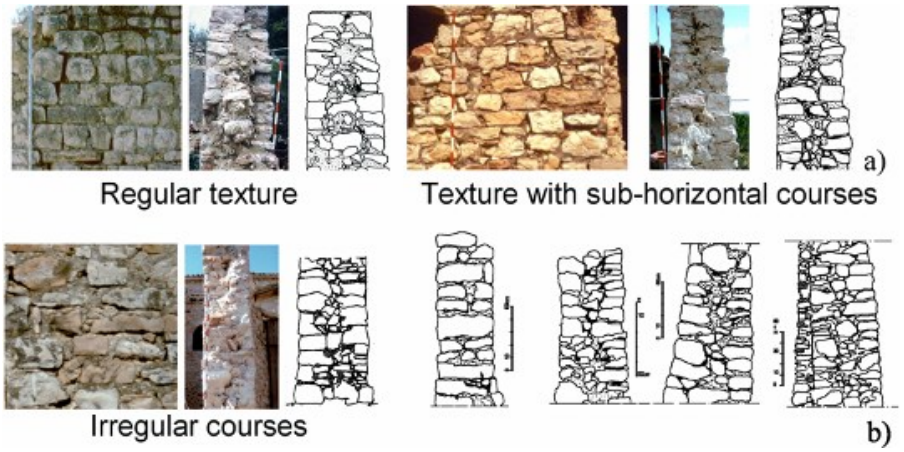


Figura 23: Tessiture e sezioni murarie (Binda, 2000b; Binda, 2003a; Cardani, 2004)

Vale la pena menzionare la classificazione introdotta nel codice della regione Umbria per il finanziamento degli interventi di ripristino a seguito di eventi sismici (Guerreri, 1999; Avorio et al, 2002a; Angeletti et al., 2004). Su questa base sono state redatti dei moduli dettagliati per la descrizione delle tipologie prevalenti di muratura con una proposta per una sommaria valutazione qualitativa (**Figura 24**).

Il Regolamento Regionale dell'Umbria n. 9 del 2003 riporta il modello le schede per la valutazione della qualità muraria (**Figura 25**) e ne fornisce una guida alla compilazione, in cui implicitamente vengono definiti i parametri per una classificazione tipologica dei blocchi, della tessitura, della disposizione dei diatoni (**Figura 26**) e una definizione della qualità della malta (Borri, 1999a; Avorio et al, 2002a; Regione dell'Umbria, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18).

Successivamente, il consorzio ReLUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica) ha sviluppato una ricerca con l'intento di definire la qualità di una muratura con un'indagine visiva e un numero limitato di prove in situ (Binda, 2006b; Binda, 2006c, Borri, 2006). Per caratterizzare il comportamento meccanico della muratura sono stati presi in considerazione molti parametri, tra cui la distribuzione dei corsi, l'omogeneità dimensionale delle pietre, ripartizione dei giunti verticali, la presenza di diatoni (**Figura 27**).

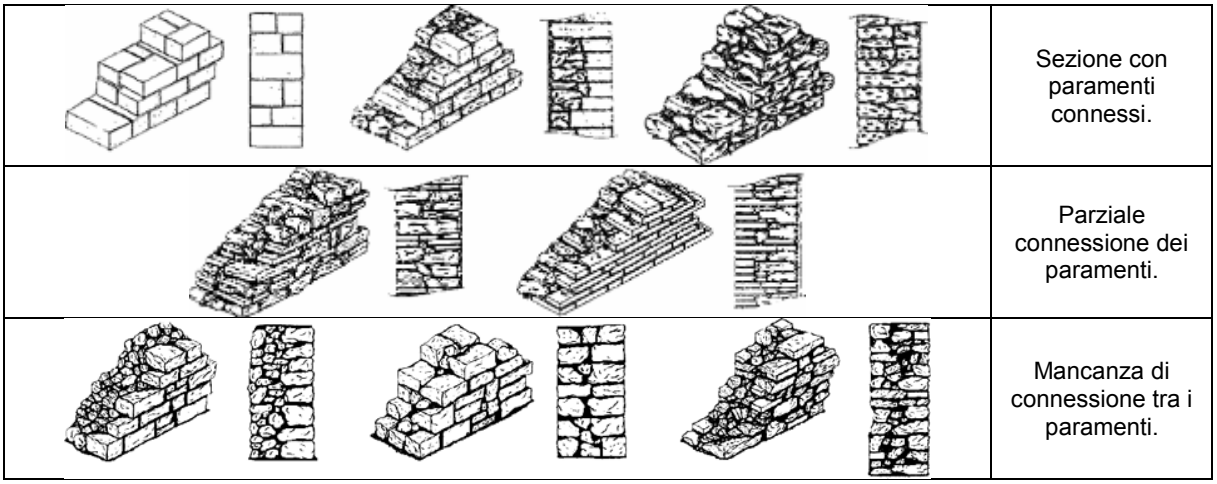
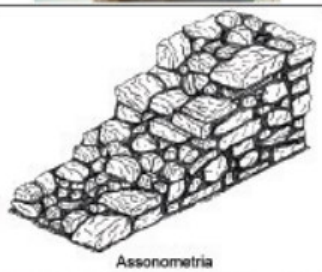


Figura 24: Schemi per la valutazione qualitativa delle tipologie murarie in Umbria (Guerreri, 1999; Avorio et al, 2002a; Angeletti et al., 2004)

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA — **AQ3**

FOTO

SCHEMI



Assonometria

Prospetto

Sezione

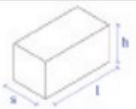
DESCRIZ.

Muratura di pietra di dimensioni minute, mista a ciottoli naturali o spaccati e pietrame.
Muratura caotica realizzata con pietre di vario tipo, laterizi, ciottoli di fiume naturali o spaccati, inserti in legno con funzione di incatenamento. Gli elementi presentano forme molto irregolari (scaglie di pietra) e dimensioni medio-piccole. La tessitura muraria è caotica, non sono rispettati i filari orizzontali, né lo sfalsamento dei giunti verticali; assenti i diatoni.

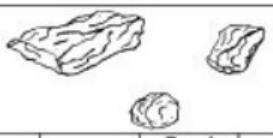
MATERIALI

Ciottoli di fiume naturali e spaccati; pietre compatte e fratturate di colori vari.
Laterizi (mattoni) di argilla cotta, interi, spaccati e scaglie.
Malta di calce, talvolta si trova malta di argilla, ambedue di scadente qualità.
Fotografie: un edificio in via Mezzaluna (AQ).

GEOMETRIA



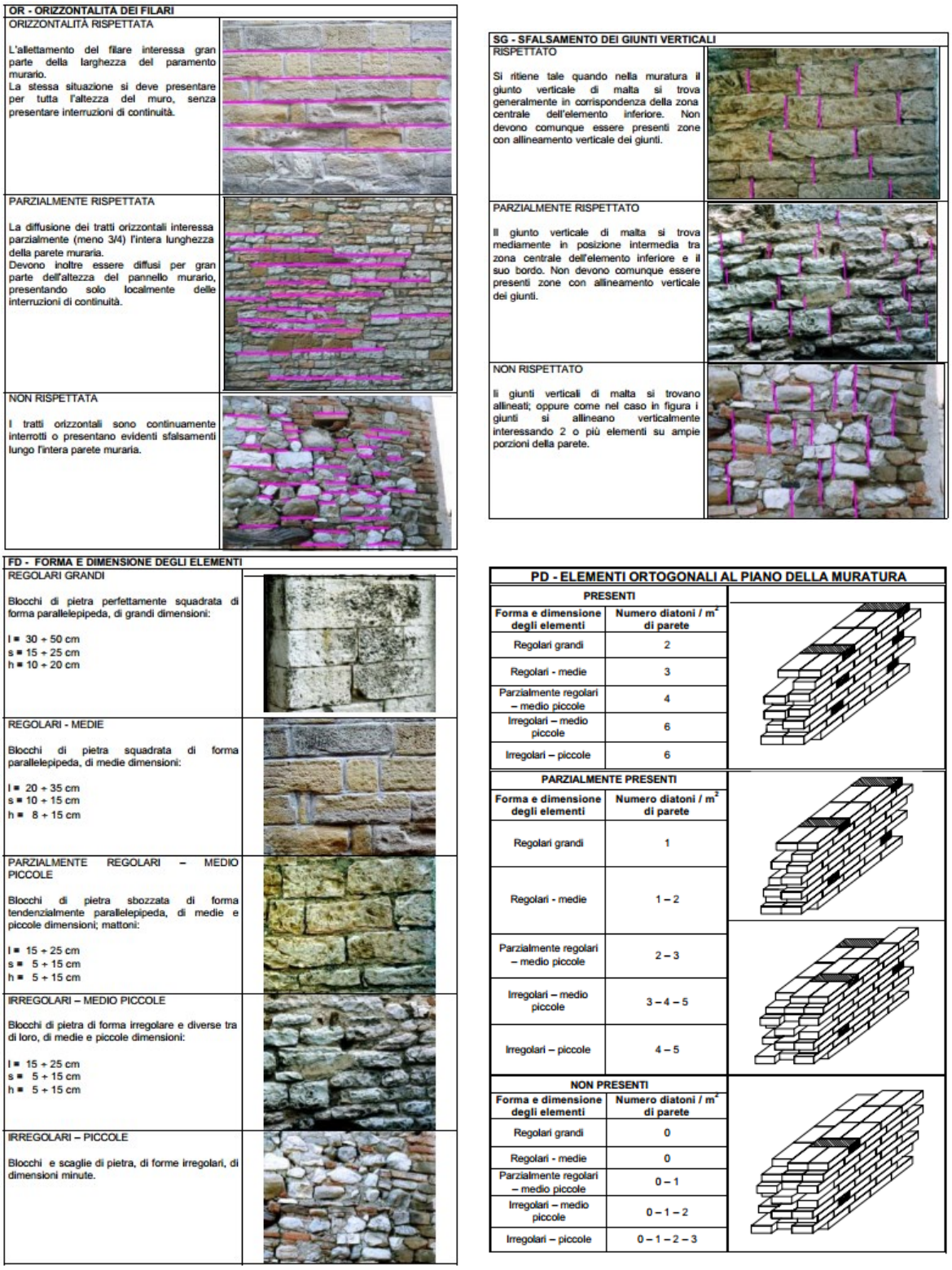
Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:
s = 8 ÷ 12 cm
h = 10 ÷ 15 cm
l = 15 ÷ 30 cm



ANALISI IQM

P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano
NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	Metodo punteggi	C	C	C
							LMT (sezione)		110	110
							IQM	0	0	0
							Parametri meccanici: valori MIN–MAX	f_m (N/cmq)	E (N/mmq)	τ_0 (N/cmq)
								94-169	548-821	1,9 - 3

Figura 25: Scheda di valutazione della qualità muraria (Regione dell'Umbria, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18)



OR - ORIZZONTALITÀ DEI FILARI

ORIZZONTALITÀ RISPETTATA

L'allettamento del filare interessa gran parte della larghezza del paramento murario.
La stessa situazione si deve presentare per tutta l'altezza del muro, senza presentare interruzioni di continuità.

PARZIALMENTE RISPETTATA

La diffusione dei tratti orizzontali interessa parzialmente (meno 3/4) l'intera lunghezza della parete muraria.
Devono inoltre essere diffusi per gran parte dell'altezza del pannello murario, presentando solo localmente delle interruzioni di continuità.

NON RISPETTATA

I tratti orizzontali sono continuamente interrotti o presentano evidenti sfalsamenti lungo l'intera parete muraria.

SG - SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI

RISPETTATO

Si ritiene tale quando nella muratura il giunto verticale di malta si trova generalmente in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore. Non devono comunque essere presenti zone con allineamento verticale dei giunti.

PARZIALMENTE RISPETTATO

Il giunto verticale di malta si trova mediamente in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo. Non devono comunque essere presenti zone con allineamento verticale dei giunti.

NON RISPETTATO

Ii giunti verticali di malta si trovano allineati; oppure come nel caso in figura i giunti si allineano verticalmente interessando 2 o più elementi su ampie porzioni della parete.

FD - FORMA E DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI

REGOLARI GRANDI

Blocchi di pietra perfettamente squadrata di forma parallelepipeda, di grandi dimensioni:

l = 30 ÷ 50 cm
s = 15 ÷ 25 cm
h = 10 ÷ 20 cm

REGOLARI - MEDIE

Blocchi di pietra squadrata di forma parallelepipeda, di medie dimensioni:

l = 20 ÷ 35 cm
s = 10 ÷ 15 cm
h = 8 ÷ 15 cm

PARZIALMENTE REGOLARI – MEDIO PICCOLE

Blocchi di pietra sbozzata di forma tendenzialmente parallelepipeda, di medie e piccole dimensioni; mattoni:

l = 15 ÷ 25 cm
s = 5 ÷ 15 cm
h = 5 ÷ 15 cm

IRREGOLARI – MEDIO PICCOLE

Blocchi di pietra di forma irregolare e diverse tra di loro, di medie e piccole dimensioni:

l = 15 ÷ 25 cm
s = 5 ÷ 15 cm
h = 5 ÷ 15 cm

IRREGOLARI – PICCOLE

Blocchi e scaglie di pietra, di forme irregolari, di dimensioni minute.

PD - ELEMENTI ORTOGONALI AL PIANO DELLA MURATURA

PRESENTI

Forma e dimensione degli elementi	Numero diatoni / m² di parete
Regolari grandi	2
Regolari - medie	3
Parzialmente regolari – medio piccole	4
Irregolari – medio piccole	6
Irregolari – piccole	6

PARZIALMENTE PRESENTI

Forma e dimensione degli elementi	Numero diatoni / m² di parete
Regolari grandi	1
Regolari - medie	1 – 2
Parzialmente regolari – medio piccole	2 – 3
Irregolari – medio piccole	3 – 4 – 5
Irregolari – piccole	4 – 5

NON PRESENTI

Forma e dimensione degli elementi	Numero diatoni / m² di parete
Regolari grandi	0
Regolari - medie	0
Parzialmente regolari – medio piccole	0 – 1
Irregolari – medio piccole	0 – 1 – 2
Irregolari – piccole	0 – 1 – 2 – 3

Figura 26: Abachi della guida alla compilazione delle schede di valutazione della qualità muraria (Regione dell'Umbria, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18)

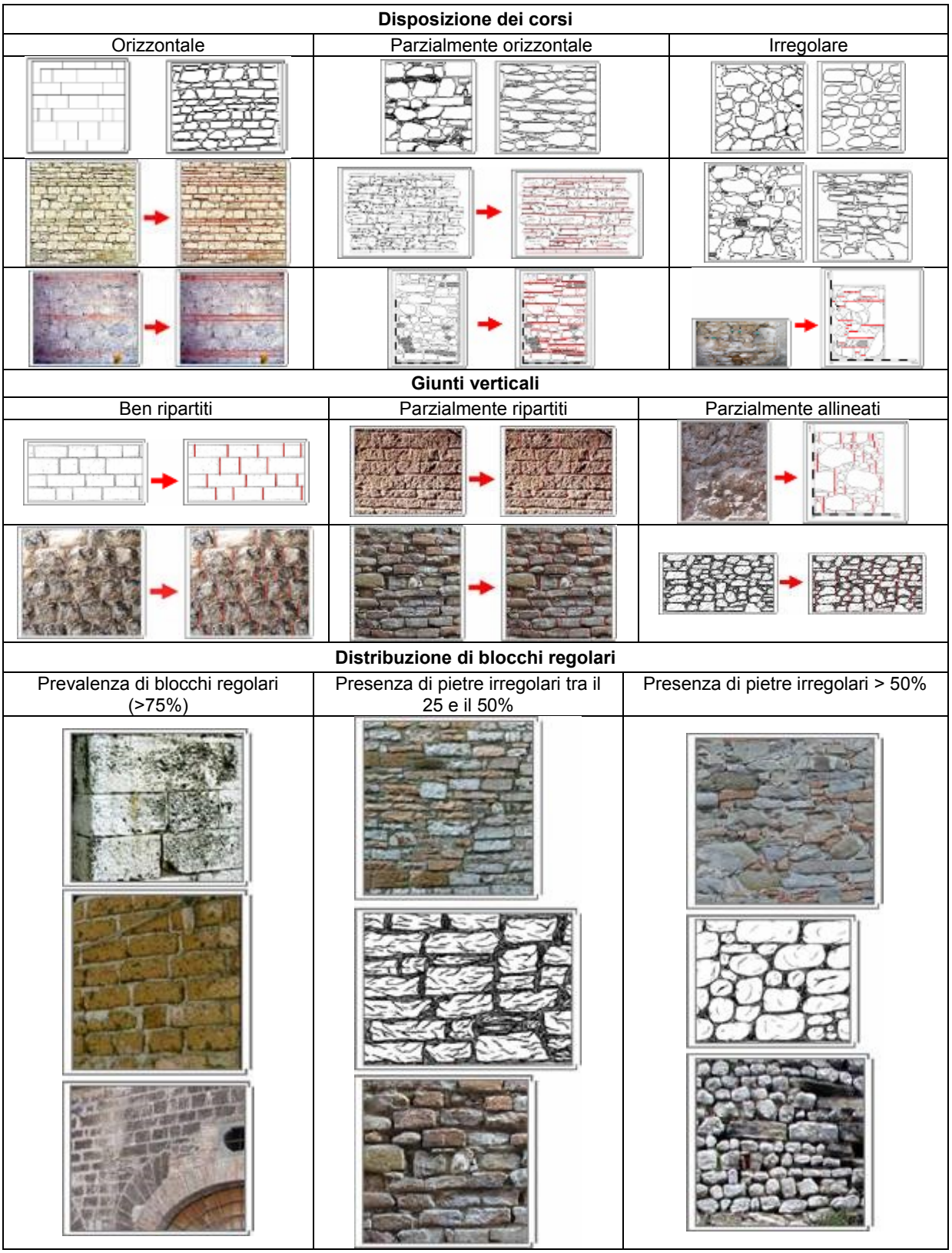


Figura 27: Suddivisione proposta nella ricerca del consorzio ReLUIS (Binda, 2006b; Binda, 2006c, Borri, 2006)

Una più recente classificazione che comprende una valutazione sul grado di connessione trasversale è stata proposta da Speranza (Speranza, 2003) dopo indagini accurate in seguito al terremoto di Umbria e Marche del 1997. Uno dei pregi di tale classificazione è che può essere ragionevolmente estesa ad un vasto numero di centri storici sia del bacino del Mediterraneo sia europei. La **Figura 28** mostra le tipologie delle quali si riporta una breve descrizione.

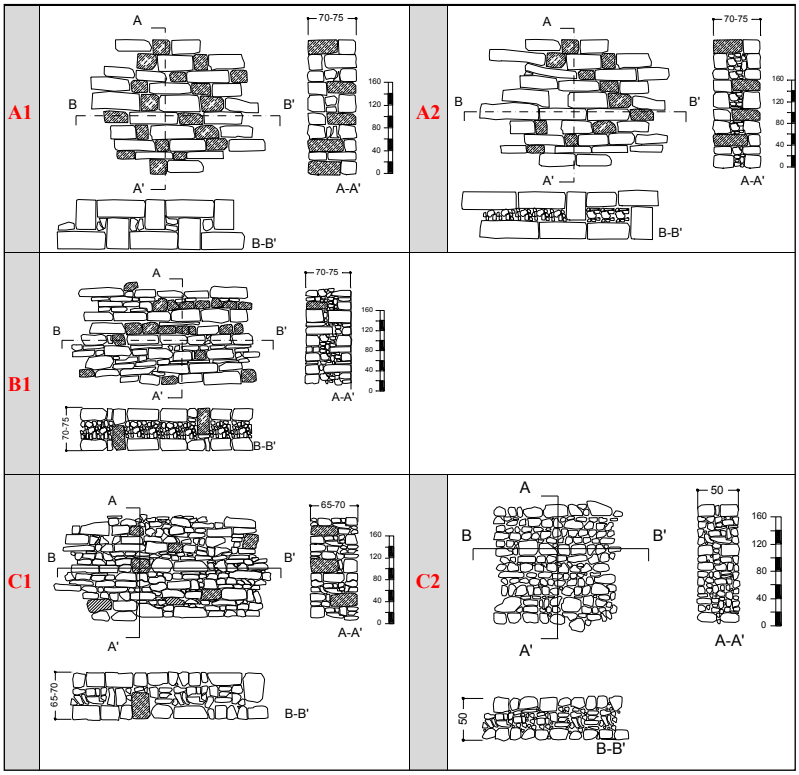


Figura 28: Tipologie di muratura con valutazione del grado di connessione trasversale (Speranza, 2003)

A1 – Muratura compatta costituita da lunghe pietre squadrate grossolanamente e disposte a strati orizzontali. La connessione nello spessore può essere considerata buona.

A2 – Due strati di pietre grossolanamente squadrate con qualche elemento disposto trasversalmente. Il riempimento è costituito da materiali coerenti e la connessione nello spessore può considerarsi media.

B1 – Muratura mista costituita da un misto di elementi calcarei allungati, pietre squadrate più piccole e detriti. La trama principale è data da strati alternati di elementi allungati disposti longitudinalmente con strati in cui gli elementi fungono da diatoni, mentre i detriti servono a chiudere gli interstizi tra le pietre e come riempimento. Il grado di connessione tra gli strati può definirsi debole.

C1 – Muratura caratterizzata principalmente da detriti con strati quasi orizzontali in cui la trama è caratterizzata da tre o quattro strati di piccole pietre alternati da strati con elementi di dimensione maggiore. All'interno la sezione evidenzia piccole pietre e grandi quantitativi di malta poco resistente. Anche in questo caso il grado di connessione trasversale è da ritenersi debole.

C2 – Muratura costituita da detriti di piccolo calibro con l'inserimento di qualche elemento più grande. Sia la piccola dimensione degli elementi che la scarsa qualità della malta contribuiscono a rendere estremamente debole la connessione sul piano trasversale.

Queste tipologie sono state osservate anche in Abruzzo dopo il terremoto de L'Aquila del 2009 (D'Ayala et al., 2010).

L'utilizzo di murature a doppio paramento con intercapedine riempita di detriti era una pratica estremamente comune in tutto il mondo antico. Il più delle volte, però, l'assenza di elementi di connessione trasversale rendeva la muratura stessa estremamente vulnerabile, come osservato da molti autori in occasione di vari terremoti (Modena et al., 2004; D'Ayala, 2004a Binda et al., 2006a; Modena et al., 2008; Binda et al., 2009b;)

Nel caso di muri di spessore importante o di pilastri, non è infrequente che un paramento a trama regolare nasconda una intercapedine riempita di materiale incoerente (**Figura 29**).

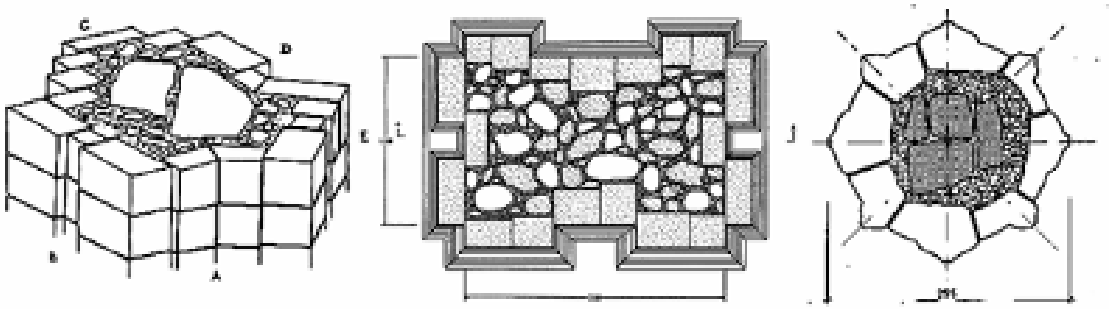


Figura 29: Esempi di pilastri multistrato nella cattedrali di Pavia, Noto e Milano

Blocchi monolitici erano invece comunemente impiegati per i monumenti e gli edifici monumentali e nelle colonne ciò avveniva, e avviene tutt'ora, molto frequentemente. Le colonne erano composte da conci accoppiati con spine in legno duro o metallo e saldati col piombo, il tutto senza l'ausilio di malta (**Figura 30**). Il materiale veniva poi rifinito e levigato in funzione dell'importanza dell'edificio. Lo stesso modello di legatura poteva essere usato anche per i muri. La costruzioni in conci monolitici era preferita anche laddove veniva richiesto un tempo rapido di esecuzione dell'opera.

Figura 30: Conci di colonne con ben visibili i fori per l'assemblaggio e la legatura

Sono inserite in questa categoria del "data warehouse" anche le murature miste in pietra e laterizio, già impiegate nell'antica Roma e un esempio tratto dall'edizione del *De Architectura* di Cesare Cesariano è riportato in **Figura 31**.

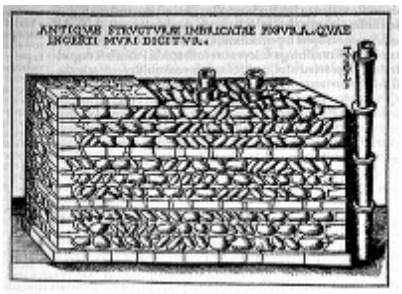


Figura 31: Esempio di muro in struttura mista pietra e laterizio dall'edizione di Cesare Cesariano del 1521 del trattato De Architectura di Vitruvio (Cesariano, 1521)

La disposizione degli elementi è quanto mai varia ed alcuni esempi sono riportati in **Figura 32**. Nel nord Italia, in particolare durante il periodo gotico, la muratura era costituita da strati alternati di pietre disposte in diagonale e mattoni, mentre in altri casi mattoni e pietre possono essere disposti in modo caotico nella muratura.

Figura 32: Esempi di distribuzioni di pietra e laterizio nelle murature

1.2.1.3.3 MURATURE RINFORZATE CON LEGNO

Tali murature si riscontrano in molte zone del bacino del Mediterraneo. Una campagna di indagine di numerosi monumenti ed edifici storici in Grecia ha evidenziato nel corso dei secoli un continuo uso del legno a rinforzo delle murature (Vinzeleou, 2007a; Vinzeleou, 2008). L'uso del legno nelle strutture è stato osservato in costruzioni a Creta, risalenti al 2500 a.c., ad Akrotiri nell'isola di Santorini, risalenti al sedicesimo secolo a.c., nelle chiese e nei monasteri bizantini, e in nuclei urbani risalenti al secolo scorso.

Questa osservazione può estendersi a tutto il bacino del Mediterraneo e oltre. L'utilizzo del legno come coadiuvante strutturale, i trattamenti per aumentarne la durabilità e dunque l'efficienza strutturale sono estremamente diffusi e vari. Il ritrovamento in aree ad elevato rischio sismico suggerisce anche che le capacità di rinforzo strutturale del legno nelle strutture soggette a carichi dinamici era nota fin dall'antichità. I tiranti in legno agiscono come rinforzo sia a flessione che a taglio e aumentano la deformabilità della struttura.

Gli elementi lignei possono essere impiegati come tiranti disposti longitudinalmente alle murature ad intervalli regolari oppure in continuo, per contribuire al comportamento statico globale della struttura. Le tipologie di muratura che più frequentemente sono state osservate in accoppiamento a parti in legno sono quella a prevalenza di materiale sciolto e quella a tre paramenti, con spessore dei muri variabile tra i 70 e i 90 cm, mentre i leganti sono per lo più malta di calce o malta di calce e pozzolana, anche se non mancano comunque casi di malta di argilla.

I tipi prevalenti di legname sono di conifera o castagno, con sezioni tipo dagli 80x80 mm fino a 140x140 mm in funzione del tipo di muratura e dalla densità dei rinforzi. Gli elementi di connessione trasversale presentano usualmente una sezione inferiore (circa 60x60 mm).

Sono stati osservati muri senza rinforzi trasversali dove il numero degli elementi verticali varia da uno a tre. Nel caso di un solo rinforzo la posizione prevalente è in mezzeria di sezione o a ridosso del paramento interno, quando, per esigenze specifiche, non occupa l'intera sezione. Nel caso di due elementi, ciascuno era posizionato in corrispondenza o quasi degli strati più esterni. Tre elementi affiancati invece sono disposti uniformemente lungo la sezione trasversale (Vintzileou, 2008). La **Figura 33** riassume le osservazioni descritte.

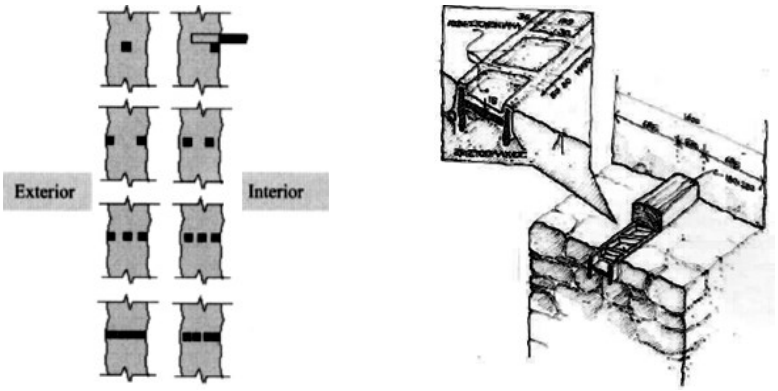


Figura 33: Schema di distribuzione dei rinforzi longitudinali in legno nello spessore della muratura (Vintzileou, 2008)

Il legno può essere usato anche come ossatura di contenimento della costruzione. Questa tecnica era considerata estremamente efficiente per il comportamento sismico ed è presente con variazioni locali tipiche con numerosi esempi a Lisbona in Portogallo, Reggio Calabria in Italia e nell'isola di Lefkada in Grecia a seguito delle ricostruzioni dopo i terremoti del diciannovesimo secolo.

A Reggio Calabria la tecnica si è evoluta fino al sistema brevettato detto "casa baraccata", anche se l'applicazione più famosa è legata a Baixa Pombalina, il centro storico di Lisbona ricostruito dopo il devastante terremoto del 1755 illustrata in **Figura 34** (Cóias e Silva, 2002; Paula et al., 2006).

La **Figura 35** illustra tre tipologie di ossature lignee.

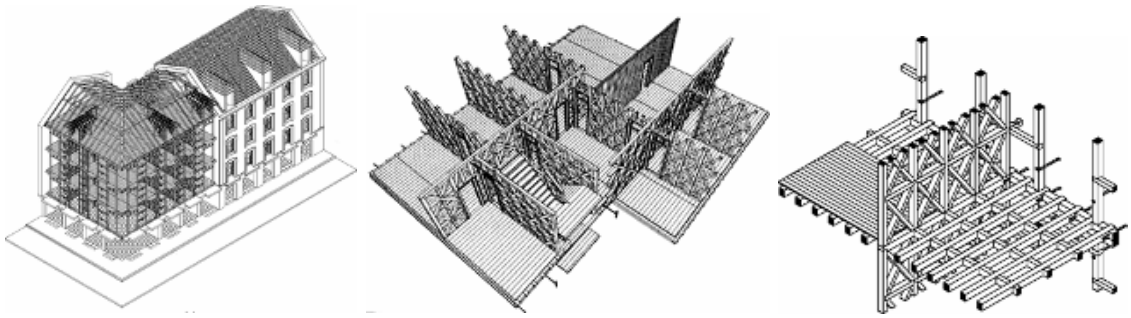


Figura 34: Dettagli della costruzione Pombalina (Cóias e Silva, 2002; Paula et al., 2006)

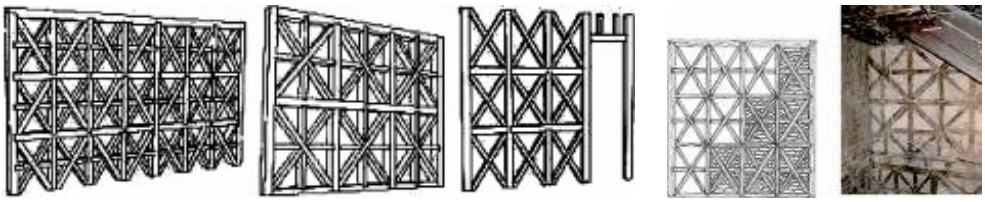


Figura 35: Tipologie di ossature lignee (Cóias e Silva, 2002; Paula et al., 2006)

Un altro esempio degno di nota riguarda il sistema sviluppato nell'isola di Lefkada (Vinzeleou, 2007a), che ha dato buona prova di comportamento durante il sisma del 1821 inducendo le autorità britanniche, che al tempo governavano le isole egee, ad imporne l'uso come sistema di costruzione delle nuove abitazioni.

L'edificio tipico consiste di un piano terra in muratura di pietra più uno o due piani di muratura in laterizio rinforzata con ossatura lignea. Gli interpiani sono costruiti interamente in legno e il tetto ricoperto di tegole, mentre le finestre sono simmetriche in pianta. Per proteggere la muratura dall'umidità, la facciata del piano superiore è ricoperta con assi di legno (**Figura 36**).

Figura 36: Morfologia tipica degli edifici dell'isola di Lefkada (Vintzileou, 2007a)

I muri portanti del piano terra non sono più alti di tre metri, per uno spessore variabile tra 60 e 100 cm. Lo strato esterno del muro è composto da pietre tagliate grossolanamente, mentre pietre dal taglio più preciso sono usate per gli angoli e nelle aperture. L'interno del muro è riempito con detriti, pezzi di mattone e malta. Un ulteriore struttura di sostegno è costituita da colonne lignee disposte in appoggio al filo interno del muro portante e connesse tra loro e alla muratura mediante una trave orizzontale in legno con giunti in metallo di varie forme e dimensioni.

1.2.1.3.4 MURATURE IN TERRA

Come è stato già accennato nel paragrafo 1.2.1, le murature in terra possono essere a struttura composta ("adobe") o a struttura omogenea (terra battuta e "cob").

I muri in “adobe”, parola spagnola che significa “blocco di terra”, sono costituiti da mattoni di terra cruda mista a fibre vegetali essiccati al sole. Tra il momento dell’impasto e la fase di essiccatura il mattone viene lasciato a riposo per un breve periodo di tempo. Questa modalità costruttiva, la cui origine si perde nei meandri del tempo, è ancora estremamente attuale in tutti i paesi del mondo, dall’Asia all’Africa passando per il centro e sud America. Non fa eccezione l’Europa, con evidenze in Spagna, Lituania e Regno Unito. Una tra le testimonianze più antiche di costruzioni in blocchi di pietra risale all’8000 a.c. (Houben et al, 1994).

L’uso dei mattoni in terra cruda è diffuso principalmente nelle zone rurali dove le abitazioni sono solitamente di un piano con altezza attorno ai 3 m. Case a più piani possono trovarsi in aree montane, dove il terreno molto scosceso offre un appoggio alla struttura. Nelle aree andine si sono abitazioni che arrivano a 3 piani. Nei centri urbani delle aree civilizzate è molto più difficile che questa tipologia di muratura trovi applicazione, anche perché proibita in molte aree per la sua scarsa resistenza alle azioni sismiche, come ad esempio nella città di San Salvador (COEN, 2001).

Due tipologie di mattoni sono state osservate anche a Lalitpur in Nepal (D’Ayala et al., 2003a), entrambe di dimensioni 210x105x50 mm. La prima è costituita da blocchi seccati al sole che vengono legati con malta di fango, mentre la seconda è costituita da blocchi vetrificati a fiamma. La sezione di questi ultimi è trapezoidale in modo che i giunti risultino nascosti su un lato del paramento e questo contribuisce, insieme alla vetrificazione della superficie, a rendere impermeabile la superficie della muratura rendendola adatta per i rivestimenti esterni.

La larghezza dei muri è estremamente variabile con valori che vanno dai 30 a 150 cm. La dimensione dei blocchi e la loro disposizione nella muratura varia da luogo a luogo. La **Figura 37** riporta alcune tipologie murarie.

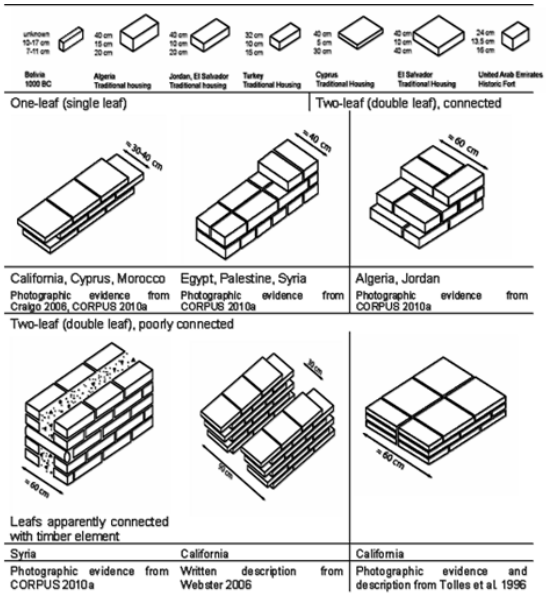


Figura 37: Esempi di tipologie di murature in “adobe” (D’Ayala et al., 2003a)

La malta usata nei giunti, di spessore variabile, è di solito a base di fango, anche se talvolta viene aggiunta della calce (CORPUS, 2010).

I muri in terra battura (pisé) sono formati da strati di terra compattata in casseforme di altezza variabile comunemente tra 30 e 50 cm, anche se sono state osservate altezze fino a 100 cm. Tra gli strati possono essere presenti uno strato di malta di calce o fibre vegetali, soluzione che garantirebbe maggiore resistenza alle sollecitazioni sismiche (Langenbach, 2004; Hurd, 2006). La larghezza del muro dipende dalla larghezza della cassaforma e il muro è a paramento singolo.

La **Figura 38** riporta alcune tipologie di murature in terra battuta.

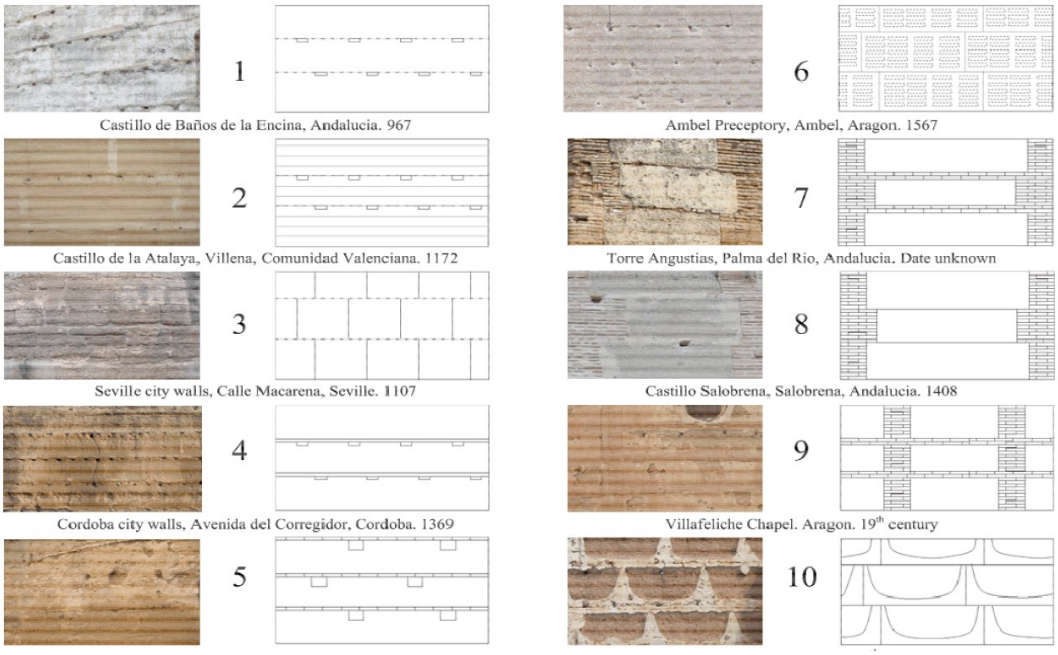


Figura 38: Tipologie di murature in terra battura osservate in Spagna (Jaquin et al., 2007)

Il "cob" è una mistura di argilla, sabbia, paglia e acqua. Così come per le altre tipologie di murature in terra, anche il "cob" è diffuso in tutto il mondo, indipendentemente da temperatura e clima. Si trovano esempi di costruzioni dall'Africa equatoriale al Regno Unito (Hugo et al., 1994).

Le tipologie di costruzione variano in relazione alla larghezza della muratura e alla presenza o meno di fondazioni in pietrame o di un basso muretto in pietra alla base del muro (**Figura 39**), soluzioni che garantiscono un buon livello di drenaggio e una maggior durabilità della struttura.

Figura 39: Particolare di muri d'appoggio per costruzioni in "cob" [Sito 13]

1.2.2 Elementi orizzontali

1.2.2.1 *Solai*

I solai erano tradizionalmente sono realizzati completamente in legno, ammorsato direttamente nella muratura sulla quale trasferisce i carichi. In tempi più recenti le travi in legno sono state sostituite da travi metalliche con elementi in laterizio oppure da basse e piccole volte a botte fino ad arrivare alle moderne travi in calcestruzzo armato e precompresso.

Strutturalmente un solaio deve reggere i carichi di esercizio senza eccessiva deformazione, distribuire il carico sulle strutture portanti e garantire un grado di connessione con il resto della struttura per rispondere efficientemente alle azioni dinamiche. Da un punto di vista costruttivo si distinguono due parti di un solaio: una struttura di supporto e una di distribuzione del carico. Nei solai in legno la struttura di supporto è costituita dalle travi, mentre la funzione di distribuzione è garantita dal tavolato (Angotti et al., 2005).

Un altro sistema costruttivo prevede, tra le travi e il tavolato, uno strato costituito da travetti disposti ortogonalmente alle travi principali, sia per contribuire alla migliore distribuzione dei carichi, sia per garantire migliore resistenza e deformabilità flessionale.

Nei palazzi più nobili, i soffitti erano solitamente rivestiti da decorazioni e stucchi, lasciando comunque intuire la struttura dei solai (**Figura 40**).

Figura 40: Esempi di solai in edifici del 1500 [Sito 14; Sito 15]

Una divisione tipologica dei solai storici in legno può essere fatta in funzione alla distribuzione delle travi di supporto e ai materiali che formano il tavolato. Nei palazzi residenziali si distinguono i solai che hanno le travi lunghe quanto la luce da muro a muro da quelli con travi più corte della luce. Appartengono al secondo gruppo i solai tipo Serlio, quelli a pianta poligonale, a raggiera e tutti i solai con travi non parallele.

Tra i solai con le travi lunghe si distinguono solai unidirezionali, bidirezionali a doppio strato, misti con travi in legno ed elementi in muratura e solai a comparti.

Il solaio unidirezionale è il più diffuso nelle costruzioni storiche in Italia. Le travi, a sezione quadrata o rettangolare, sono disposte parallelamente al lato più corto, con luci fino a 4 o 5 m. In Austria e Germania le travi solitamente usate fino all'800 erano a sezione quadrata, mentre in Italia, fin dal 1600, sono state usate travi rettangolari con un rapporto tra i lati della sezione peri a 0.7, rapporto che rende massima la resistenza a flessione ricavando la trave da un tronco cilindrico (Barbisan, 1997). Per quanto riguarda il rapporto tra l'altezza della sezione e la luce, già nel 1834 veniva suggerito un valore non inferiore a 1/24 (Rondelet, 1934), mentre i trattati rinascimentali (Palladio, Serlio, Scamozzi, Milizia) suggeriscono che la distanza tra le travi debba essere pari alla loro larghezza, sia per ragioni estetiche che statiche.

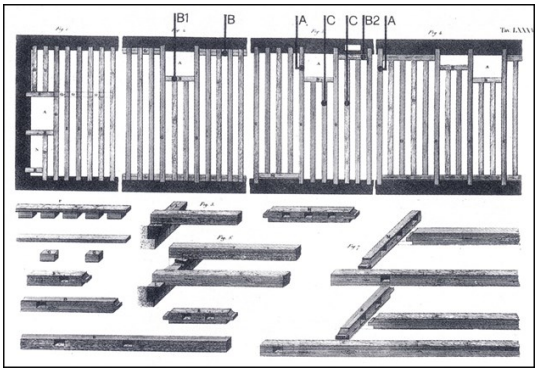


Figura 41: Schema di solaio unidirezionale (Rondelet, 1834)

In tempi più recenti la distanza tra le travi è aumentata, considerando sia l'eccesso di zelo statico degli autori rinascimentali, sia il costo di reperimento della materia prima. L'interasse è salito così a valori tra 40 e 50 cm con conseguente aumento della sezione delle travi.

Oggigiorno si usano per lo più travetti con rapporto tra base e altezza di circa ¾ dell'altezza e sezione tra 9x12 cm e 12x18 cm, oppure panconi di tradizione francese con base tra 5 e 8 cm e altezza pari a 3 o 4 volte la base (Ceccotti et al., 2007), disposti con interasse tra i 30 e i 50 cm.

I solai bidirezionali sono composti da una doppia orditura di travi e travetti disposti ortogonalmente e sovrapposti in vario modo (**Figura 42**).

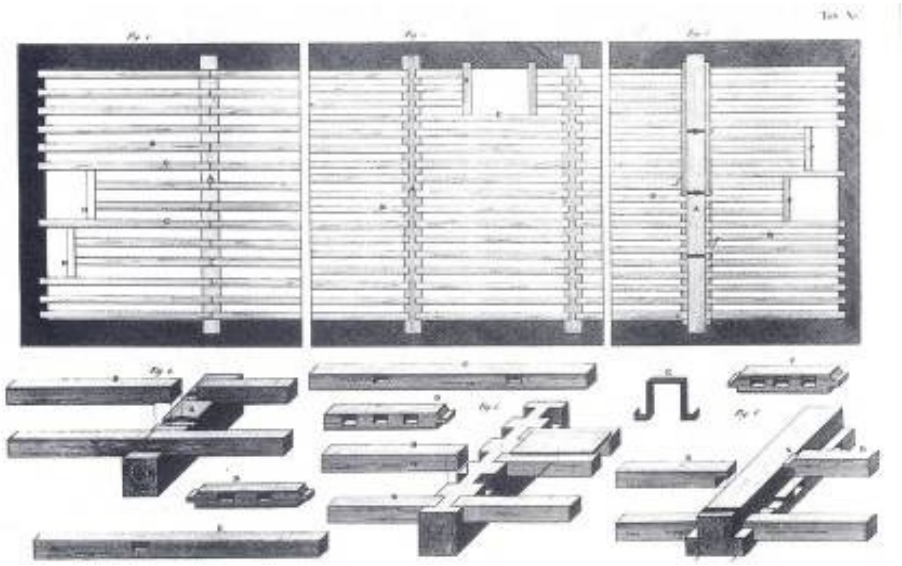


Figura 42: Schema di solaio bidirezionale (Rondelet, 1834)

Le travi, lunghe fino a 4 o 6 m, presentano un interasse maggiore rispetto ai solai unidirezionali, arrivando fino a 3 o 4 m, con una lunghezza di ancoraggio di almeno 25 cm. Fonti storiche suggeriscono un'altezza pari a 1/18 della luce (Munafò, 1990).

Il metodo più antico di connessione tra travi e travetti era di semplice sovrapposizione. Successivamente si sono sviluppati metodi di incastro per evitare al travetto di sfilarsi dal giunto. La pratica di usare elementi in laterizio per la componente distributiva del solaio è documentata già in strutture europee del tredicesimo secolo, anche se l'uso diffuso inizia solo sei secoli più tardi.

I solai tipo Serlio prendono il nome da Sebastiano Serlio, architetto bolognese del sedicesimo secolo, sebbene orditure simili siano state riscontrate anche nei progetti del Palladio (Barbisan et al., 1995). Alcune tipologie "alla Serlio" sono riportate in **Figura 43** (Munafò, 1990).

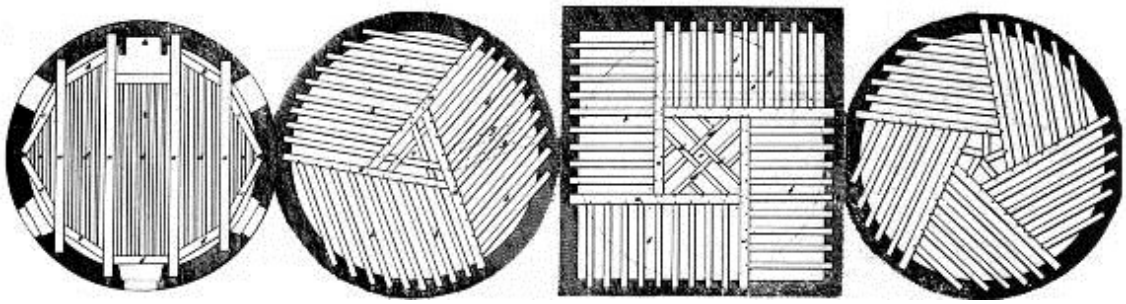


Figura 43: Esempi di solai tipo Serlio (Munafò, 1990)

Altre tipologie di solai sono quelle a base poligonale e a raggiera, le prime di origine olandese, mentre le seconde utilizzate in stanze a base circolare.

1.2.2.2 *Coperture*

Le coperture in legno a falde spioventi possono essere distinte in due categorie: coperture con solai inclinati e coperture a capriata.

Per entrambe le categorie, l'orditura delle travi principali, detta grossa orditura, si divide in due gruppi, a seconda della sua disposizione. Nel caso in cui sia presente una trave di colmo con le travi inclinate parallele alla falda, si parla di orditura "alla piemontese", mentre, nel caso in cui le travi siano disposte parallelamente alla linea di gronda, l'orditura viene detta "alla lombarda" (**Figura 44**).In quest'ultimo caso le travi vengono denominate arcarecci o terzere.

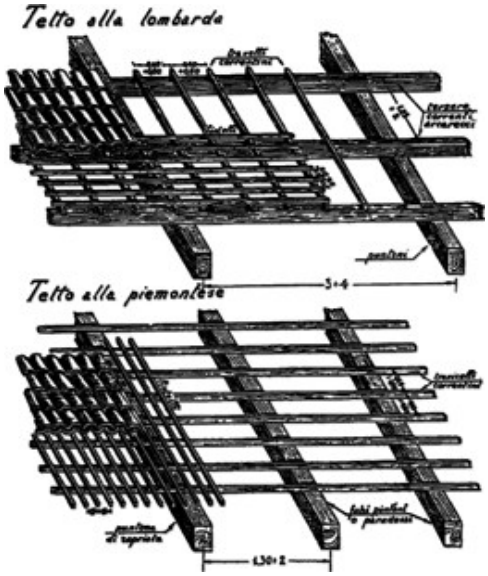


Figura 44: Tipologie tradizionali di coperture in legno (Giordano, 1993).

Da un punto di vista statico, le coperture con solai inclinati sono considerate coperture spingenti. Se è presente un muro di spina o una trave portante longitudinale in corrispondenza del colmo, la copertura può essere considerata di tipo poco spingente.

Le spinte orizzontali sui muri laterali rappresentano una fonte di vulnerabilità nel caso di carichi di esercizio elevati e ancor più in caso di eventi sismici, dal momento che i muri sono progettati per la trasmissione di carichi verticali.

Per ottenere una copertura di tipo non spingente occorre ridistribuire i carichi laterali all'interno della copertura stessa. Questo effetto può essere ottenuto con un tirante che colleghi le teste delle travi di falda (puntoni) all'altezza della linea di gronda, oppure mediante l'uso di una capriata reticolare.

Le capriate sono strutture dal comportamento statico a trave reticolare e rappresentano l'elemento architettonico più diffuso nella copertura di edifici di grande luce. Un primo accenno alla struttura della capriata si trova nel libro quarto del *De architectura* di Vitruvio (**Figura 45**, Cesariano1521), anche se l'uso si diffonde in epoca tardo-romana per la copertura delle prime basiliche cristiane.

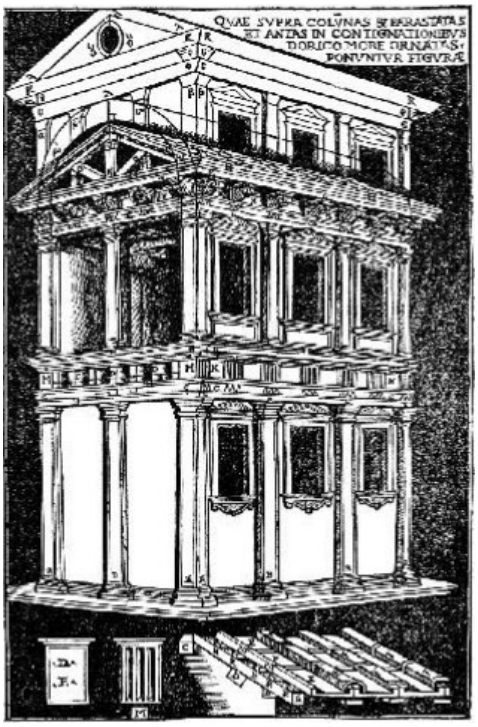


Figura 45: Edificio di ordine dorico con illustrazione di una capriata (Cesariano, 1521).

La struttura della capriata lignea dipende essenzialmente dalla luce, con variazioni geografiche che hanno portato a differenti articolazioni del reticolo.

Si possono distinguere due famiglie di capriate, dall'aspetto simile e una considerata evoluzione dell'altra: "quella che prevede il monaco appoggiato sulla catena e l'altra con il monaco sollevato a cui è appesa la catena" (Munafò, 2002). Questa evoluzione si perfeziona nel XVIII secolo trasformando il monaco in tirante sostenendo la catena per contrastarne eventuali inflessioni. Lo schema costruttivo con il monaco che carica la catena è tipico dei paesi d'oltralpe ed utilizzato lungo tutto il medioevo, mentre lo schema con il monaco sollevato, considerato da alcuni autori l'unico modello valido per una capriata propriamente detta, è un elemento tipico dell'architettura italiana.

La **Figura 46** rappresenta un modello di capriata a "Palladiana semplice" in cui è definita la nomenclatura delle singole componenti, mentre la **Figura 47** e la **Figura 48** riportano alcune tipologie di capriata e alcuni schemi statici di funzionamento.

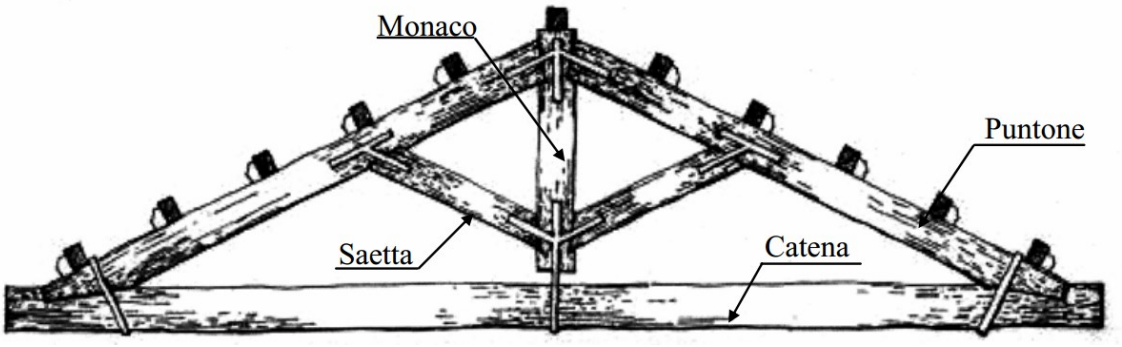


Figura 46: Schema di capriata semplice "alla Palladio" con identificazione delle singole componenti (Ceccotti et al, 2007).

Le capriate a struttura composta sono utilizzate per coprire grandi luci, arrivando ad ampiezze di 20-30 m nel caso delle Palladiane composte (Ceccotti et al, 2007).

Gli elementi della capriata tradizionale possono essere assemblati tra loro in vari modi, il più diffuso dei quali è senza dubbio l'utilizzo di ferramenta (viti, bulloni, rosette, piastre chiodate). I giunti devono garantire il funzionamento a cerniera per non compromettere l'isostaticità della struttura. L'appoggio ai muri portanti necessita solitamente di un elemento protettivo in legno o in ferro.

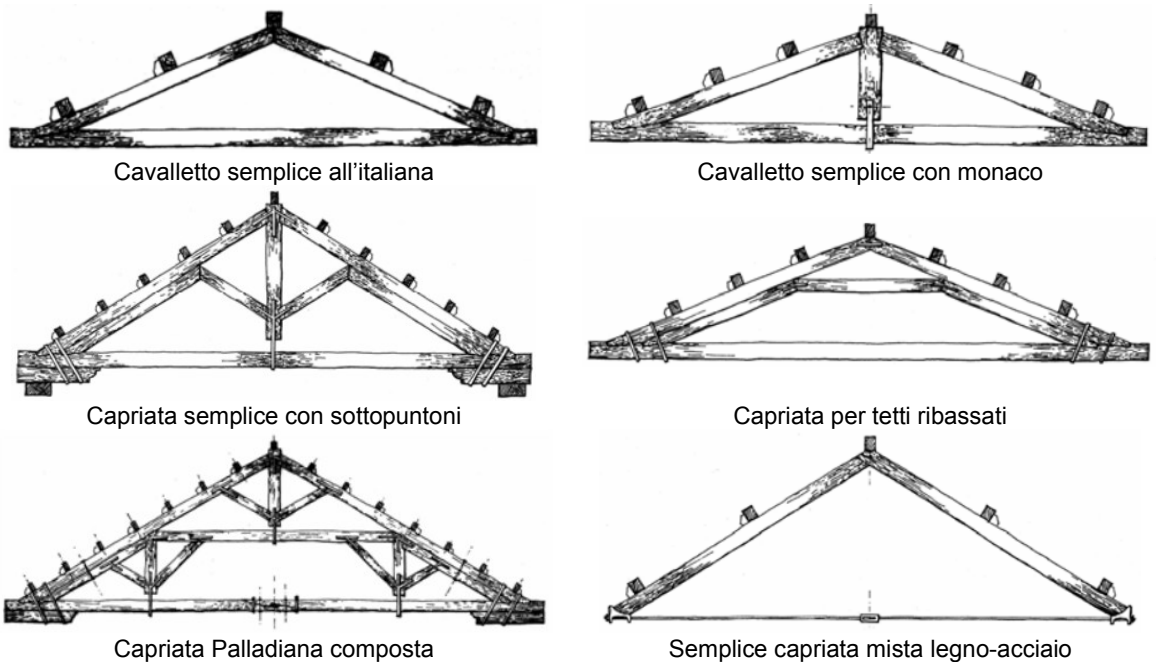


Figura 47: Tipologie di capriate e incavallature riscontrabili in edifici civili e monumentali (Ceccotti et al, 2007).

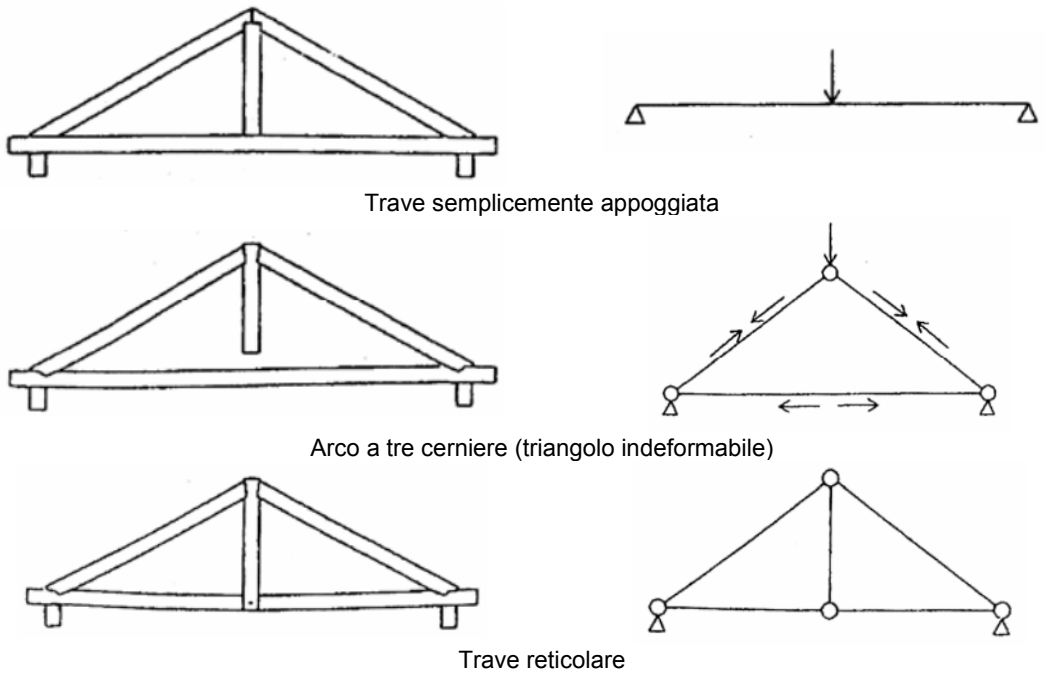


Figura 48: Schemi statici in relazione alla tipologia di capriata (Ceccotti et al, 2007).

1.2.3 Archi, volte e cupole

Il comportamento statico delle strutture ad arco è noto fin dall'antichità. Volte e cupole sono state usate molto di frequente nell'antichità per coprire, soprattutto negli edifici religiosi, luci molto ampie, mentre nei ponti l'uso di campate ad arco era la prassi. Un esempio di volta in legno è riportato in **Figura 49**.

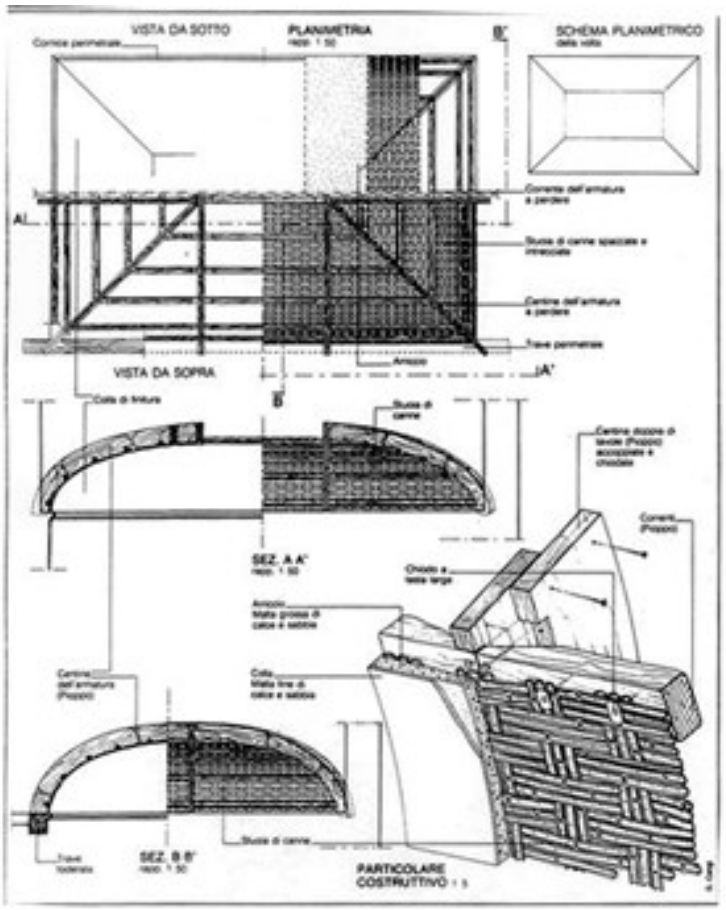


Figura 49: Esempio di volta in legno (Giovanetti, 1998)

Le tipologie di arco si sono evolute in funzione del luogo e del periodo storico. Troviamo così archi a tutto sesto, tipici del periodo romano, archi a sesto acuto, tipici del periodo gotico, archi inflessi presenti in quasi tutti gli edifici del mondo arabo, archi ribassati tipici dei seminterrati medievali e numerose altre varianti.

La **Figura 50** riassume i principali tipi di arco reperibili in letteratura.

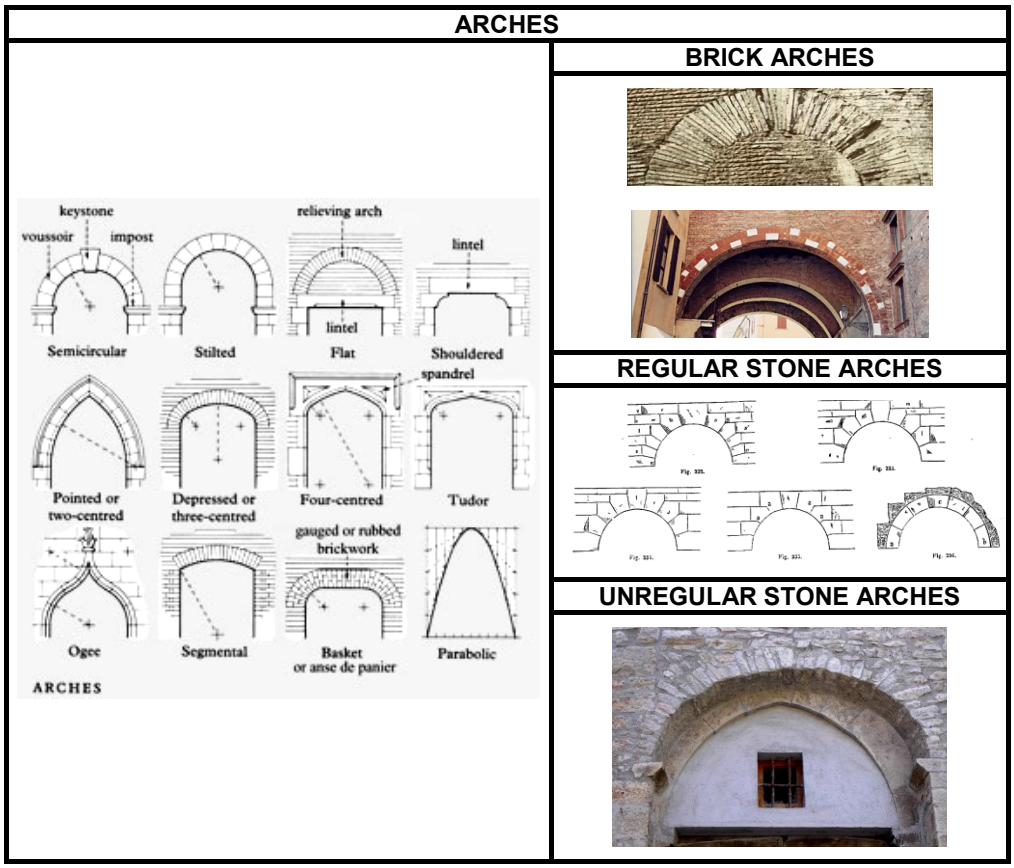
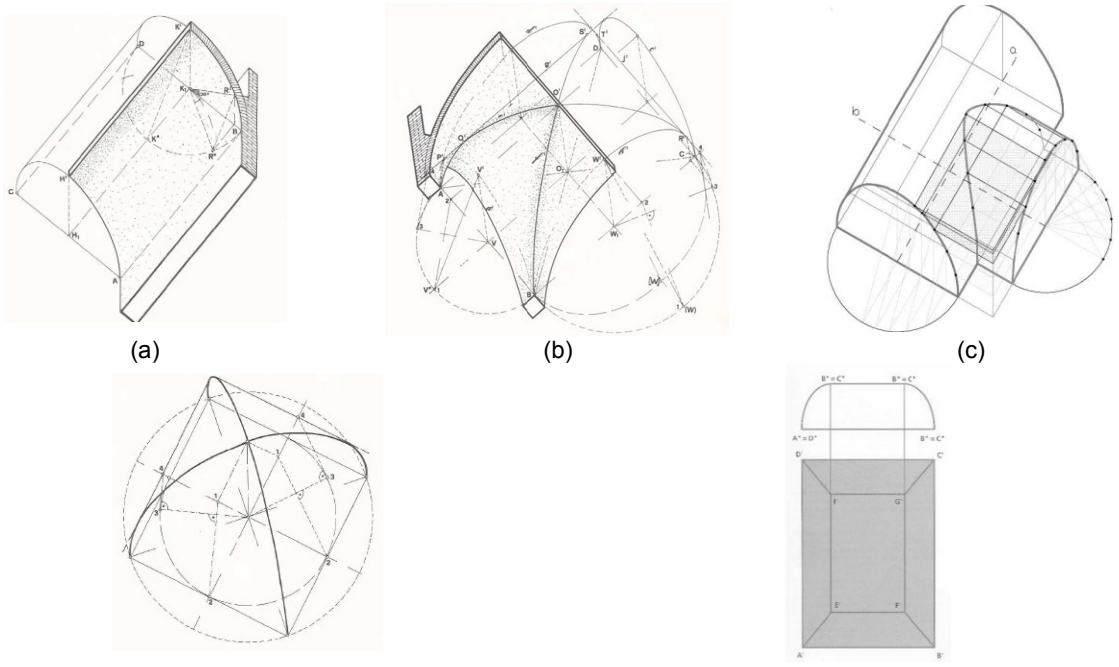


Figura 50: Principali tipologie di arco presenti in letteratura (Binda, 2003b)

Le volte si possono suddividere in due grandi gruppi in funzione della costruzione geometria da cui derivano. Si possono così distinguere le volte di traslazione, generate dal movimento di una linea retta lungo una curva e volte di rotazione, definite dalla rotazione di una curva attorno ad un asse (Carbonara, 2004).

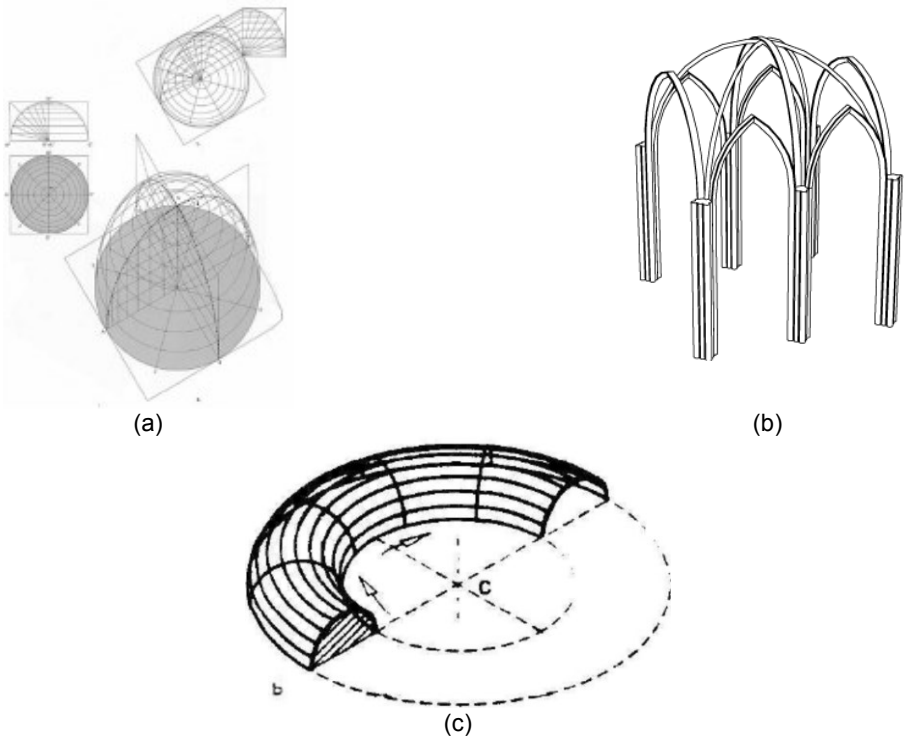
Appartengono al primo tipo le volte a botte, le volte a crociera, le volte a padiglione, le volte a lunetta, e le volte a schifo (**Figura 51**). Appartengono al secondo tipo le volte a cupola, le volte a creste o vele e le volte circolari (**Figura 52**).



(a) (b) (c)

(d) (e)

Figura 51: Principali tipologie di volte di traslazione: a) volta a botte, b) volta a crociera, c) volta a lunetta, d) volta a padiglione, e) volta a schifo (Carbonara, 2004)



(a) (b)

(c)

Figura 52: Principali tipologie di volte di rotazione: a) volta a cupola, b) volta a crete o vele, c) volta a cupola circolare (Carbonara, 2004)

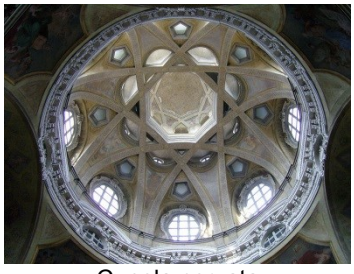
Le cupole sono in genere impiegate per le coperture superiori delle strutture monumentali e spesso hanno corde elevatissime. Come un poligono tende ad un cerchio all'aumentare del numero dei lati, così una volta a padiglione tende ad una cupola.

Le cupole sono caratterizzate generalmente da una apertura in sommità detta "lanterna" e in alcuni casi da aperture sui lati dette "oblò". Gli oblò sono per lo più presenti nelle grandi cupole in muratura e posizionati nel tamburo, cilindro murario su cui appoggia la cupola, per non alterare la struttura della cupola vera e propria. Le principali tipologie costruttive, da un punto di vista strutturale, sono: a struttura discontinua, a struttura continua, a cassettoni, nervate e cupole a doppia o tripla calotta (**Figura 53**).

Cupola a struttura discontinua
S. Maria del Fiore (Firenze – Italia)

Cupola a struttura continua
Moschea di Zeinaab
(Damasco – Siria)

Cupola a cassettoni
Pantheon (Roma – Italia)



Cupola nervata
S. Lorenzo (Torino – Italia)

Cupola a calotta multipla
S. Paul (Londra – Regno Unito)

Figura 53: Principali tipologie costruttive di cupole [Sito 16, Sito 17, Sito 18, Sito 19, Sito 20, Sito 21]

Lo spessore della cupola in genere varia lungo i meridiani, aumentando verso l'imposta dove la pressione è maggiore e dove è utile avere pesi stabilizzanti.

Un'indagine condotta dal Politecnico di Milano ad Arg-e-Bam in Iran dopo il devastante terremoto del 2003 ha postato alla classificazione di quattro tipologie di cupole in "Adobe" (Licciardi, 2008):

- cupole a corsi concentrici
- cupole con pennacchi (primo tipo)
- cupole con pennacchi (secondo tipo)
- cupole con pennacchi isolati

La prima tipologia è costituita da cupole di rotazione, emisferiche, con i mattoni disposti radialmente e saldati con una malta di argilla (60%), sabbia fine (30%) e gesso (10%). La base è quadrata ed è supportata da pennacchi a sviluppo emisferico come illustrato in **Figura 54**.

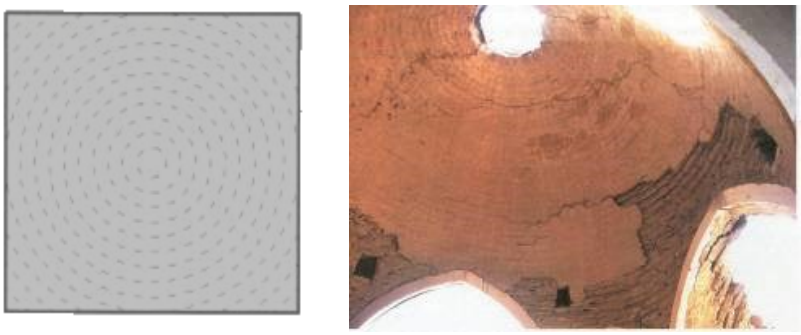


Figura 54: Schema ed esempio di cupola a corsi concentrici (Arg-e-Bam – Iran) (Licciardi, 2008)

La seconda tipologia include cupole con pennacchi che giacciono sull'asse mediano dei lati aperti e con mattoni disposti in corsi ad arco che giacciono su tronchi di cono e si incontrano formando archi di cerchio. La sezione della cupola non è costante. Uno schema è riportato in **Figura 55**.

Figura 55: Schema ed esempi in costruzione di cupola con pennacchi (primo tipo) (Licciardi, 2008)

Il terzo gruppo include cupole con pennacchi paralleli ai muri portanti. I mattoni sono legati tra loro da malte di terra e gesso e disposti secondo corsi ad arco a sviluppo conico, con orientazione opposta al gruppo precedente (**Figura 56**).

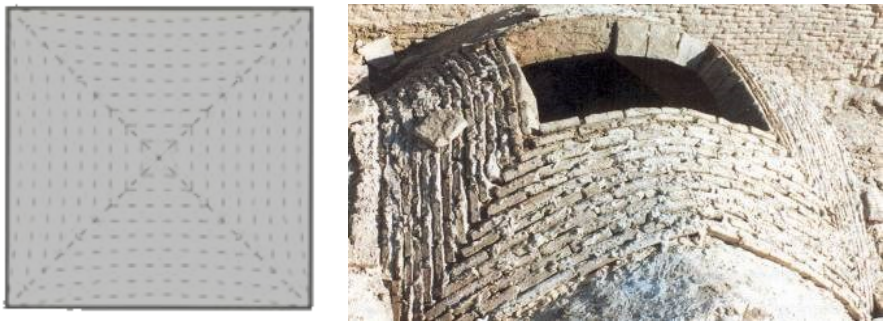


Figura 56: Schema ed esempio di cupola con pennacchi (secondo tipo) (Licciardi, 2008)

L'ultima tipologia è costituita da cupole con pennacchi isolati e sono per lo più un misto delle due tipologie precedenti. Sono state definite a pennacchi isolati perché il comportamento statico del pennacchio è indipendente dagli altri più che in ciascun altra tipologia presentando due discontinuità, la prima lungo le diagonali come nelle tipologie precedenti e la seconda lungo le linee mediane (**Figura 57**).

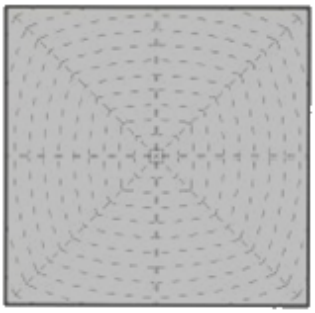


Figura 57: Schema di cupola con pennacchi isolati (Licciardi, 2008)

1.2.4 Connessioni e sotto-assemblaggi

La qualità delle connessioni tra elementi di una struttura contribuisce in modo significativo a mitigare la vulnerabilità sismica di una struttura. Il comportamento scatolare impedisce alle singole parti di collassare, cosa che può contribuire notevolmente a salvare vite umane.

Possiamo dividere le connessioni in tre gruppi: connessioni di elementi verticali tra loro, connessione tra elementi verticali con elementi orizzontali e connessioni di carpenteria delle coperture.

Le connessioni tra elementi verticali dipendono dalla tipologia muraria. Le strutture tradizionali in muratura presentano solitamente delle pietre d'angolo per legare assieme due muri ortogonali. La disposizione delle pietre e la loro relazione con il resto della muratura sono decisamente importanti per l'efficienza della connessione. Nella **Figura 58** solamente l'ultima immagine rappresenta delle pietre angolari che effettivamente forniscono un accettabile grado di connessione (Ferrini et al., 2003).

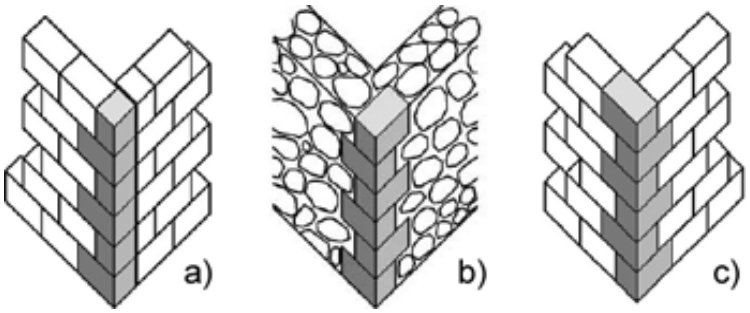


Figura 58: Alcune disposizioni di pietre angolari: a) nessuna connessione con uno dei due muri, b) connessione inefficace per la natura della muratura, c) connessione efficiente (Ferrini et al., 2003)

Anche se di uso non molto frequente, tiranti per la connessione tra elementi verticali sono stati osservati in edifici in muratura in Bosnia e Erzegovina riconducibili ad un periodo che va tra la fine del diciannovesimo e l'inizio del ventesimo secolo. I tiranti sono ancorati al lato esterno dei rispettivi muri ortogonali mediante ancoraggi metallici.

Altrettanto delicati sono gli ancoraggi dei muri con i solai. Negli edifici con muratura in pietra o laterizio, le travi principali dei solai erano direttamente infilate nella muratura o appoggiate su elementi ausiliari quali piastre o mensole. Non era infrequente l'uso di connettori metallici. Un altro tipo di connessione era ottenuta annegando due travi del solaio nella muratura in senso longitudinale, una lungo il perimetro interno e una lungo quello esterno, e collegandole con travetti orizzontali per garantirne la collaborazione statica (**Figura 59**). Questo tipo di ancoraggio è estremamente efficace, con l'unico difetto legato alla difficoltà di sostituire le eventuali travi ammalorate dal tempo.

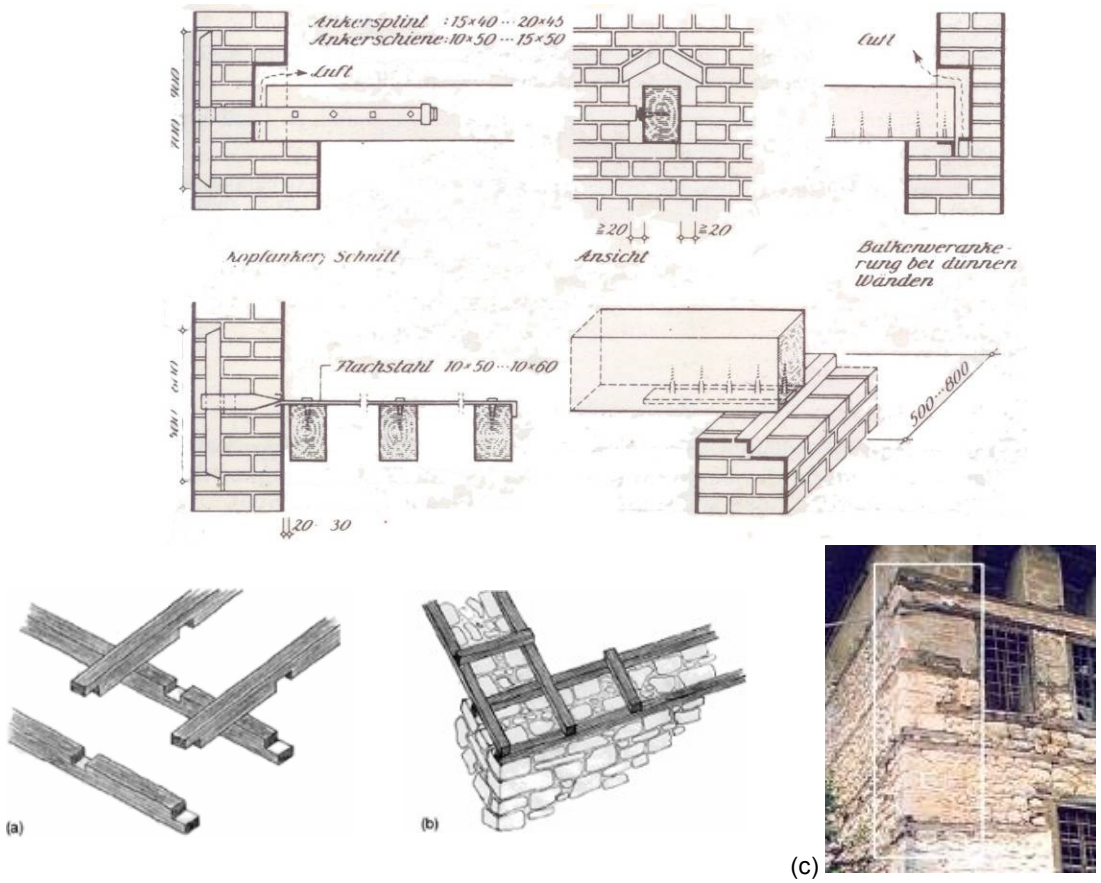


Figura 59: Esempi di connessione tra muro e solaio in edifici in muratura in pietra e laterizio (Ahnert et al., 1991; NTUA/EPPO, 2005; Vintzileou, 2008)

Negli edifici storici in "adobe" le travi dei solai sono costruite in legno e posizionate direttamente sopra il muro o infilate in apposite fessure nella parte superiore dello stesso (**Figura 60**), il più delle volte senza alcun cordolo.

Figura 60: Esempi di connessione tra muro e solaio in edifici in “adobe” (Tolles et al., 2002)

Gli ancoraggi tra muri e coperture erano solitamente molto curati, con le travi superiori delle capriate solitamente spinte oltre il paramento esterno per fornire maggior riparo dalle intemperie e ammorsate alla muratura o ancorate mediante zanche metalliche.

Tiranti metallici erano largamente usati in passato per assicurare una corretta connessione tra gli elementi strutturali orizzontali e verticali, e venivano installati comunemente a livello dei solai e/o della copertura. I tiranti erano costituiti da aste metalliche con una piastra di estremità posizionata appena sotto il solaio. Le placche metalliche potevano assumere varie forme (**Figura 61**) e talvolta erano usati bolzoni o capichiave nel caso di murature molto povere dal momento che distribuiscono il carico su una superficie maggiore (Blasi et al., 1999).

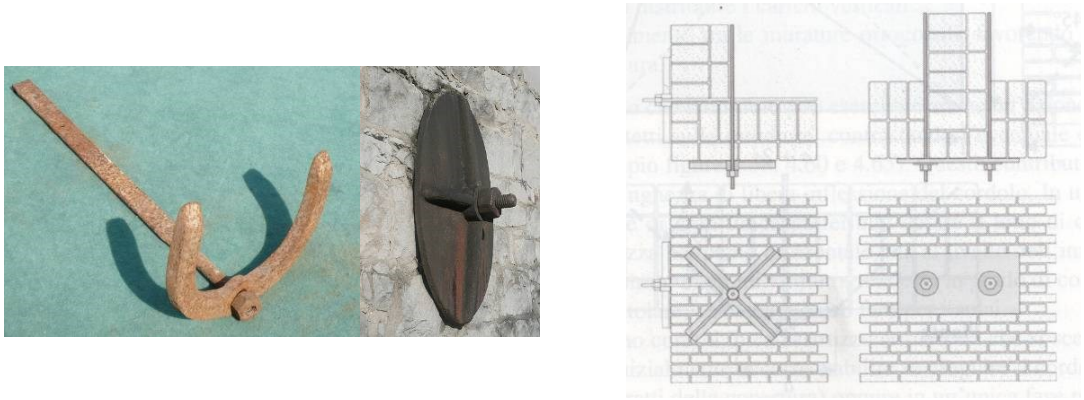


Figura 61: Esempi di tiranti, placche metalliche e bolzoni per murature

La connessione tra volte e muri sottostanti non faceva uso di particolari accorgimenti. Dal momento che la sollecitazione primaria è la compressione, l’unico accorgimento era quello di evitare rotture fuori piano in caso di sollecitazioni dinamiche. Un corretto dimensionamento degli elementi attorno alla volta era sufficiente per limitare il rischio, anche se in alcune chiese ortodosse è documentato l’uso di tiranti di contenimento della muratura secondo lo schema riportato in **Figura 62** [Sito 22].

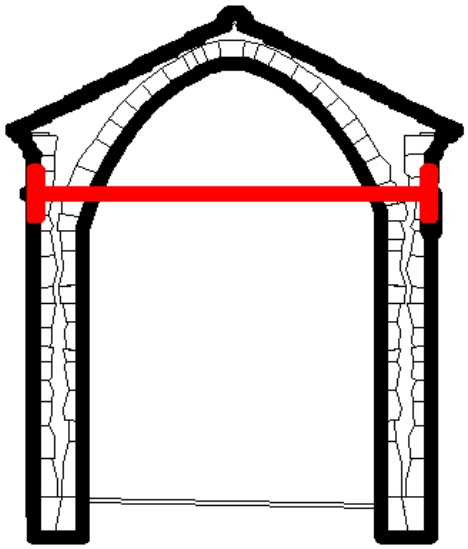


Figura 62: Schema di tirante di contenimento sotto una volta

1.2.5 Le tipologie dei materiali nel “data warehouse”

Per ciascun elemento costruttivo dei manufatti storici sono stati identificati i materiali costitutivi, che sono stati catalogati suddividendoli in tipologie funzionali omogenee per caratterizzazione geometrica, comportamento statico e risposta alle sollecitazioni sismiche.

La Tabella 8 riassume tutti gli elementi presenti nel “data warehouse” suddivisi per elemento costruttivo.

Tabella 8: Tipologie di materiale inserite nel “data warehouse” suddivise per elemento costruttivo

Wall	Stone Masonry	Single-Leaf
		Multi-Leaf
	Brick Masonry	Single-Leaf
		Multi-Leaf
	Earthen Masonry	Adobe
	Monolithic Earth Materials	Rammed Earth
		Cob
	Timber Reinforced Masonry	Timber tied stone masonry
		Timber framed masonry
Floor	Timber	Simple unidirectional floor
		Bidirectional floor
	Steel	Steel beams and brick vaults
Roof	Timber	Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)
		Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)
		Thrusting structure
	Steel	Truss structure
Arch / Vault	Brick - Stone	Arch and barrel vault
		Groin vault
		Cloister vault
		Ribbed vault and dome
	Adobe	Barrel Vault
		Domes
Columns	Brick - Stone	Monolithic columns
		Drum columns
		Masonry Pillars
Sub-Assemblage Connections	Connection horizontal to vertical structure	Connection between (stone/brick) masonry walls and floor/roof structures
		Connection between stonework wall and timber floor
		Timber laced connections in rubble infill stonework building
		Connection between earthen walls and floor/roof structures
	Connection vertical to vertical structure	Connection between orthogonal (brick/stone) masonry walls
		Connection between orthogonal stonework walls
		Corner connection between orthogonal brickwork walls
		Connection between stonework wall and vertical timber frame
		Timber laced connections in rubble infill stonework building
		Connection between orthogonal earthen walls
	Roof carpentery connections	Halved dove tail connections

2 I PARAMETRI E GLI INDICATORI DI RENDIMENTO

Uno degli scopi di questo lavoro è quello di individuare i parametri e gli indicatori di rendimento prestazionale utili per un confronto tra le situazioni prima e dopo un intervento.

I parametri sono grandezze che si riferiscono a caratteristiche fisiche o meccaniche e che sono misurabili. Per rispondere alle esigenze funzionali del "data warehouse" sono stati suddivisi in quattro gruppi, assegnati ai seguenti oggetti:

- elemento strutturale originario
- componenti
- elemento strutturale dopo l'intervento
- rinforzo

Il primo gruppo è relativo all'elemento strutturale prima di un intervento; si considerano le caratteristiche dell'intero elemento, come ad esempio una muratura o un solaio. Il secondo riguarda i componenti dell'elemento costruttivo; è stato possibile quindi caratterizzare fisicamente e meccanicamente il materiale di ogni singola parte dell'elemento: pietra, laterizio, malta, legno, ecc. I parametri del terzo gruppo sono riferiti alle caratteristiche dell'elemento strutturale valutate in seguito a un intervento. Il quarto gruppo, infine, comprende tutti gli eventuali componenti di rinforzo, aggiuntivi rispetto all'elemento originario, che vengono inseriti durante un intervento, come ad esempio barre di acciaio o FRP, solette in calcestruzzo armato ecc.

Questo tipo di suddivisione permette una accurata comparazione delle caratteristiche dell'elemento prima e dopo l'intervento, nonché una valutazione precisa dell'influenza e della compatibilità dei materiali nuovi o innovativi introdotti durante la sua realizzazione.

Con il termine indicatori di rendimento si intendo le proprietà che vengono coinvolte da un particolare meccanismo di collasso.

Un particolare meccanismo di collasso può coinvolgere solo alcune caratteristiche dell'elemento coinvolto e dunque solo un insieme ridotto dei paramenti che caratterizzano l'elemento. Ad esempio le componenti che caratterizzano il comportamento a taglio (modulo di taglio, resistenza al taglio, ecc.) sono parametri indispensabili nella valutazione dei meccanismi di rottura nel piano di una muratura, ma non entrano in gioco in quelli fuori piano. Analogamente, il valore di tensione che causa la comparsa della prima lesione sui pilastri è un dato significativo nello studio dei fenomeni di "creep", ma non entra in gioco in altri tipi di rottura (Saisi et al, 2004).

Fanno parte degli indicatori di rendimento, inoltre, anche proprietà che non sono misurabili, ma che sono estremamente importanti nella valutazione della risposta di un elemento strutturale ad una sollecitazione. Si tratta dunque di indicatori descrittivi di forma e comportamento, che aiutano a caratterizzare il comportamento di un dato elemento. Gli indicatori descrittivi di rendimento prestazionale sono dunque estremamente significativi per la definizione di un meccanismo di collasso e importanti per l'identificazione dei relativi interventi di consolidamento.

Alla luce della verifica dello stato dell'arte su tipologie elementi costruttivi e materiali è stato possibile individuare i parametri che caratterizzano le componenti strutturali e della loro interazione. Nel seguito si riportano i parametri e gli indicatori che caratterizzano l'elemento nella sua condizione pre-intervento.

2.1 *ELEMENTI VERTICALI*

I principali parametri coinvolti nel comportamento strutturale delle murature storiche includono:

- resistenza a compressione e resistenza a trazione sia dei mattoni, sia della malta, sia della muratura nel suo complesso
- aderenza tra malta e mattoni
- tipologie di muratura
- fattori geometrici
- connessioni trasversali tra i paramenti

Una accurata descrizione delle proprietà meccaniche della muratura dipende dalla appropriata combinazione e quantificazione di tali parametri. Se per le murature moderne questa operazione è relativamente semplice, lo stesso non si può affermare per le murature storiche, caratterizzate da un'estrema varietà di materiali, modalità di realizzazione e di conservazione.

Ad esempio, porosità e modulo elastico sono parametri significativi sia per la pietra, che per i blocchi in laterizio e terra cruda. Una maggiore porosità non solo influenza negativamente lo stato di conservazione dell'elemento favorendone il degrado, ma contribuisce anche alla diminuzione dei valori di resistenza meccanica e all'aumento di assorbimento di acqua. Il modulo di elasticità esprime il rapporto tra tensione e deformazione e influenza la risposta del materiale alle sollecitazioni. Per entrambi i parametri i valori presentano estrema variabilità in funzione sia della natura del materiale che del suo stato di conservazione, complicando il processo di conoscenza sul comportamento strutturale dei manufatti storici.

Il comportamento strutturale delle murature a tessitura irregolare e a paramento multiplo presentano ancora significative lacune investigative (Wenzel et al., 2000).

Una ricerca condotta dal Politecnico di Milano su murature bizantine in Italia e in altri paesi europei ha indagato l'influenza dei giunti di malta sulla rigidezza e sulla resistenza a compressione della muratura. Lo studio è stato condotto costruendo elementi prismatici di muratura e riproducendo i giunti con la medesima composizione osservata nelle murature originarie (Binda et al., 1999c; Binda et al., 2005b).

Uno degli obiettivi del progetto NIKER è stato quello di approfondire la conoscenza sui parametri di resistenza e deformazione della muratura e dei singoli elementi soggetti a carichi sia statici che dinamici. I valori ricavati dalle sperimentazioni sono serviti per la taratura di modelli numerici e sono stati inseriti nel "data warehouse" consentendo una accurata operazione di collaudo.

I parametri che maggiormente influenzano il materiale costituente gli elementi verticali a struttura monolitica (terra battuta e "cob") sono il contenuto di umidità e la distribuzione granulometrica.

Il comportamento meccanico delle murature in terra battuta e “cob” è simile a quello del calcestruzzo gettato in opera (Dierks et al., 2002), anche se il tipo di legante e giunti influenzano significativamente il risultato finale (Schröder, 2010).

Inoltre, un parametro significativo per valutare lo stato conservativo di murature e colonne è la velocità di propagazione del suono, utile per identificare presenza di lesioni o vuoti (Abbaneo et al., 1995).

La Tabella 9 riporta i parametri significativi inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi verticali, mentre la Tabella 10 definisce i parametri dei componenti suddivisi per componente.

Gli indicatori di rendimento prestazionale coinvolti nei meccanismi di collasso degli elementi verticali riguardano principalmente la valutazione del grado di connessione tra le singole parti. Se il grado di collaborazione tra gli elementi costruttivi è estremamente importante per la risposta di un manufatto alle azioni sismiche, lo stesso principio è applicabile anche all’interno di ciascun elemento stesso. La conoscenza del grado di connessione tra i paramenti di una muratura, della distribuzione dei diatoni, della geometria e della composizione della tessitura, presenza dei vuoti, forniscono elementi importanti per identificare possibili vulnerabilità locali dell’elemento.

La Tabella 11 riassume i parametri coinvolti nei meccanismi catalogati nel “data warehouse” per gli elementi verticali e la Tabella 12 riporta, per la medesima categoria di elementi, gli indicatori descrittivi introdotti dai meccanismi stessi.

Tabella 9: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi verticali

Apparent density
Bond Strength (Adhesion, Tensile)
Compressive strength
Diameter
Displacement capacity
Ductility
Elastic modulus
Energy dissipation capacity
Equivalent viscous damping
Flexural Strength
Friction coefficient
In-plane global stiffness (elastic)
In-plane global stiffness (plastic)
Initial shear strength
Max. Horizontal Force
Moisture
Onset of cracking
Peak Strain
Poisson’s Ratio
Pulse Velocity
Shear modulus
Shear Strain
Shear Strength
Shear strength recovery
Tensile strength
Ultimate loads
Ultrasonic Velocity

Tabella 10: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli elementi verticali

Apparent density
Bond Strength (Adhesion, Tensile)
Bond strength, tensile
Cohesion coefficient
Compressive strength
Density
Elastic modulus
Elastic modulus - in the direction of fibers
Flexural Strength
Friction coefficient
Global modulus of elasticity in bending
Local modulus of elasticity in bending
Moisture
Open porosity
PoissonÂ´s Ratio
Porosity
Real density
Shear Strength
Tensile bond Strength
Tensile strength
Water absorption
Water absorption - Total

Tabella 11: Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi verticali

Apparent density
Bond strength, tensile
Cohesion coefficient
Compressive strength
Displacement capacity
Ductility
Elastic modulus
Energy dissipation capacity
Equivalent viscous damping
Flexural Strength
In-plane global stiffness (elastic)
In-plane global stiffness (plastic)
Initial shear strength
Onset of cracking
Pulse Velocity
Shear modulus
Shear Strain
Shear Strength
Shear strength recovery
Tensile strength

Tabella 12: Indicatori descrittivi di rendimento prestazionale inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi verticali

Boundary Confinement
Distribution of stones, mortar and voids in the wall section
Geometry of masonry texture
Interpretation of the masonry vulnerability (good or poor connections)
Number of masonry leaves
Presence and number of headers
Section Monolithism

2.2 *ELEMENTI ORIZZONTALI*

La funzione primaria di un solaio durante un evento sismico è quella di trasferire le forze che si creano nel piano ai muri paralleli all'azione sismica per mezzo delle proprie caratteristiche di resistenza e rigidezza. I parametri che caratterizzano la rigidezza nel piano assumono così un'importanza strategica nell'interpretazione della risposta meccanica dell'elemento, sia in campo elastico che in campo plastico.

La necessità di evitare rotture fragili richiede la conoscenza dei carichi di snervamento. Parametri altrettanto significativi sono la capacità di dissipazione di energia e i carichi e gli spostamenti ultimi.

Data l'estrema varietà di soluzioni costruttive e la limitata quantità documentata di misure dei parametri coinvolti, l'importanza di una valutazione comparata di casi studio è un elemento fondamentale nella valutazione dell'intervento più appropriato. Per questo motivo è stato inserito tra i parametri anche il "riferimento bibliografico", elemento non misurabile, ma che consente di identificare agevolmente le pubblicazioni che si riferiscono ad una data tipologia di materiale.

La Tabella 13 riporta i parametri significativi inseriti nel "data warehouse" per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi orizzontali, mentre la Tabella 14 definisce i parametri dei componenti suddivisi per componente.

Gli indicatori di rendimento prestazionale coinvolti nei meccanismi di collasso degli elementi orizzontali sono relativi alla deformabilità e all'efficacia delle connessioni. In mancanza di connessioni efficaci, infatti, il solaio o la copertura perdono la loro funzionalità primaria di trasferimento dei carichi.

La Tabella 15 riassume i parametri coinvolti nei meccanismi catalogati nel "data warehouse" per gli elementi orizzontali e la Tabella 16 riporta, per la medesima categoria di elementi, gli indicatori descrittivi introdotti dai meccanismi stessi.

Tabella 13: Parametri inseriti nel "data warehouse" per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi orizzontali

Apparent density
Ductility
Elastic modulus - in the direction of fibers
Elastic modulus - perpendicular to the fibers
Energy dissipation capacity
Equivalent viscous damping
Flexural Strength
In-plane global stiffness (elastic)
In-plane global stiffness (plastic)
In-plane shear stiffness (elastic)
In-plane shear stiffness (plastic)
Max. Horizontal Force
Moisture
References
Shear Yield Displacement
Shear Yield Force
Ultimate displacement
Ultimate loads
Yield displacement (yielding point)
Yield Force

Tabella 14: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli elementi orizzontali

Apparent density
Compressive strength
Elastic modulus - in the direction of fibers
Flexural Strength
Moisture
Shear Strength
Tensile strength
Yield strength

Tabella 15: Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi orizzontali

Apparent density
Ductility
Elastic modulus - in the direction of fibers
Elastic modulus - perpendicular to the fibers
Energy dissipation capacity
Equivalent viscous damping
In-plane global stiffness (elastic)
In-plane global stiffness (plastic)
In-plane shear stiffness (elastic)
In-plane shear stiffness (plastic)
Max. Horizontal Force
References
Shear Yield Displacement
Shear Yield Force
Tensile strength
Ultimate displacement
Ultimate loads
Yield displacement (yielding point)
Yield Force

Tabella 16: Indicatori descrittivi di rendimento prestazionale inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli elementi orizzontali

Joint effectiveness
Maximum deflection

2.3 *ARCHI E VOLTE*

I parametri che definiscono archi e volte in funzione della vulnerabilità sismica riguardano la resistenza a compressione e i carichi e le deformazioni ultime. Nelle volte in terra cruda un parametro significativo è anche la capacità di assorbimento dell’acqua.

Analogamente agli elementi verticali e con le medesime finalità, è stato introdotto il parametro “riferimento bibliografico”.

La Tabella 17 riporta i parametri significativi inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi orizzontali, mentre la Tabella 18 definisce i parametri dei componenti suddivisi per componente. La Tabella 19 riassume i parametri coinvolti nei meccanismi catalogati nel “data warehouse” per gli elementi orizzontali, mentre non sono definiti indicatori descrittivi.

Tabella 17: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli archi e nelle volte

Bond strength - By wrench test
Compressive strength
References
Ultimate deflection at arch crown
Ultimate displacement
Ultimate loads

Tabella 18: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale negli archi e nelle volte

Compressive strength
Elastic modulus
Flexural Strength
Water absorption - Inital rate
Water absorption - Total

Tabella 19: Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso degli archi e nelle volte

References
Ultimate deflection at arch crown
Ultimate displacement
Ultimate loads

2.4 *CONNESSIONI E SOTTO-ASSEMBLAGGI*

I parametri coinvolti nella caratterizzazione delle connessioni dei manufatti storici sono principalmente parametri di resistenza.

Lo spostamento ultimo è il parametro più significativo, dal momento che caratterizza il materiale ed è coinvolto nell’unico meccanismo di collasso definito, ovvero nella rottura del giunto.

La Tabella 20 riporta i parametri significativi inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale negli elementi orizzontali, mentre la Tabella 21 definisce i parametri dei componenti suddivisi per componente. La Tabella 22 riassume i parametri coinvolti nei meccanismi catalogati nel “data warehouse” per gli elementi orizzontali, mentre non sono definiti indicatori descrittivi.

Tabella 20: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dello stato pre-intervento del materiale nelle connessioni e sotto-assemblaggi

Apparent density
Bond strength - By wrench test
Compressive strength
Elastic modulus
Friction coefficient
Max. Horizontal Force
Ultimate displacement

Tabella 21: Parametri inseriti nel “data warehouse” per la valutazione dei componenti del materiale nelle connessioni e sotto-assemblaggi

Compressive strength
Elastic modulus
Flexural Strength
Water absorption - Inital rate
Water absorption - Total

Tabella 22: Parametri inseriti nel “data warehouse” convolti dai meccanismi di collasso nelle connessioni e sotto-assemblaggi

Max. Horizontal Force
Ultimate displacement

3 I MECCANISMI DI COLLASSO

3.1 *MECCANISMI LOCALI*

3.1.1 Elementi verticali

3.1.1.1 *Muri*

I rilievi effettuati a seguito dei recenti terremoti nelle zone dove sono comuni gli edifici in muratura hanno evidenziato che la maggior causa di vulnerabilità è associata a meccanismi di collasso locale e deve essere ricercata nella rottura fuori piano delle pareti (Giuffrè, 1993; Doglioni, 1994; Lagomarsino et al., 1997; Binda et al., 1999a; Binda et al., 1999b; Borri et al., 1999a; D'Ayala et al., 1999a; D'Ayala, 1999b; Zuccaro et al., 2003; Valluzzi et al., 2007).

Tale meccanismo si mobilità in caso di connessioni insufficienti o addirittura assenti tra pareti e solai e tra le pareti stesse. Senza alcun contrasto, infatti, la parete può essere mobilitata fuori piano anche da piccole sollecitazioni. La **Figura 63** riporta un esempio di crolli avvenuti a seguito del terremoto di Messina del 1908, mentre la **Figura 64** e la **Figura 65** riportano alcuni esempi di rotture fuori piano di pareti in muratura rilevati in Umbria dopo il terremoto del 1997.

Figura 63: Danni a seguito del terremoto di Messina del 1908 (Giuffrè, 1993)

Figura 64: Esempi di rottura fuori piano di murature in pietra (Binda et al., 2003b)

Figura 65: Danni a seguito di rotture fuori piano (Valluzzi et al., 2007; Binda et al., 2007)

Altri fattori che contribuiscono in modo significativo alla mobilitazione di un meccanismo di rottura di una parete, oltre alla presenza e alla qualità delle connessioni, sono la qualità della muratura e la presenza di discontinuità strutturali, quali aperture, canne fumarie o pannelli di chiusura di precedenti aperture. In entrambi i casi la struttura originaria viene modificata sia nella forma che nella sostanza.

Negli edifici storici i cambiamenti di forma possono essere anche molto frequenti. Nel corso dei secoli i muri perimetrali possono subire radicali cambiamenti con una ridefinizione degli spazi interni e delle destinazioni d'uso, con le pareti perimetrali che seguano la stessa evoluzione per adattarsi agli spazi interni.

Aggiunte successive alla fase di costruzione, poi, possono introdurre materiali diversi e con comportamento statico e risposta alle sollecitazioni dinamiche diverse, che cambiano di conseguenza, anche in modo significativo, la risposta alle sollecitazioni sismiche dell'intero edificio.

Occorre far notare che molto spesso, in passato, le connessioni erano carenti e ogni modifica aggiungeva, di fatto, una discontinuità strutturale resa evidente dagli eventi sismici successivi.

La **Figura 66** mostra come una fessura renda evidenti le fasi costruttive di un edificio (Binda, 2005a), mentre la **Figura 67** mostra alcuni schemi di rottura lungo le linee di giunzione di pareti senza connessioni (Doglioni et al., 2007).

Figura 66: Fessura quale testimonianza di evoluzione costruttiva di un edificio (Binda, 2005a)

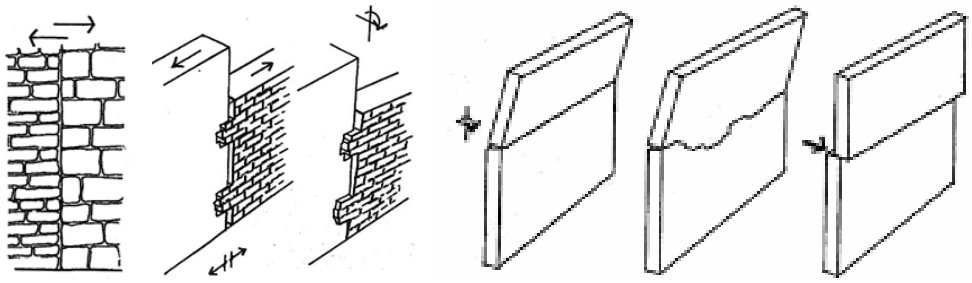


Figura 67: Schemi di rottura a seguito di discontinuità costruttive (Doglioni et al., 2007)

Un'ulteriore modifica, non infrequente negli edifici storici, che comporta importanti cambiamenti sul piano strutturale indebolendo nel complesso la struttura, è la sopraelevazione. Oltre all'aggravio statico sui muri portanti dovuto all'incremento di peso, comunque non trascurabile sotto azioni dinamiche, è stato osservato anche un erroneo posizionamento dei muri del piano aggiunto, che insistono direttamente sui solai (Giuffrè, 1993; Doglioni et al., 2007), come evidenziato dallo schema di **Figura 68**.

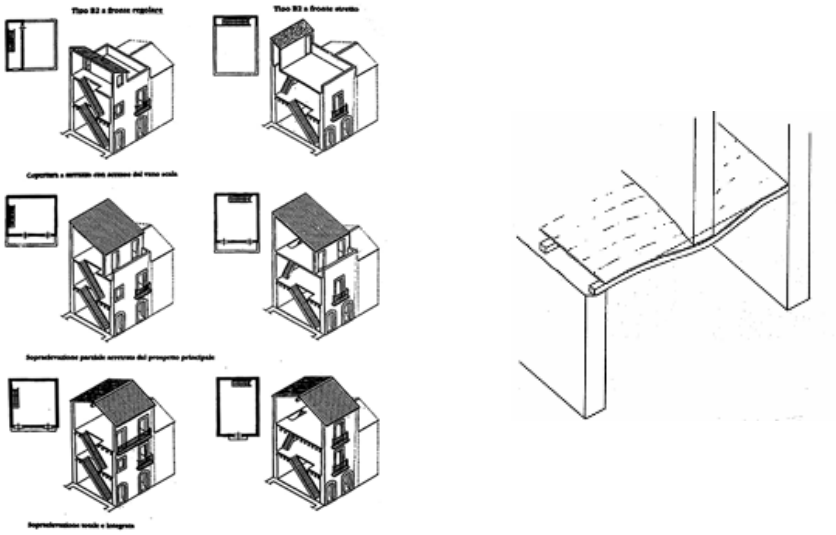


Figura 68: Schemi di tipici innalzamenti di un piano in Ortigia (Giuffrè, 1993) ed errori frequenti (Doglioni et al., 2007).

La chiusura di aperture in parete può causare, in caso di sisma, la mobilitazione del riempimento quando la discontinuità tra riempimento e parete è marcata.

Tipico il caso di aperture ad arco in pietra sagomata chiuse con pietrame disposto più o meno alla rinfusa. La discontinuità in questo caso è estremamente evidente, come si può notare in **Figura 69**.

L'apertura di nuove finestre è un punto ancor più delicato, dal momento che non è sempre valutato correttamente l'indebolimento della parete in relazione ai carichi che insistono su di essa, soprattutto se sede di appoggio di solai.

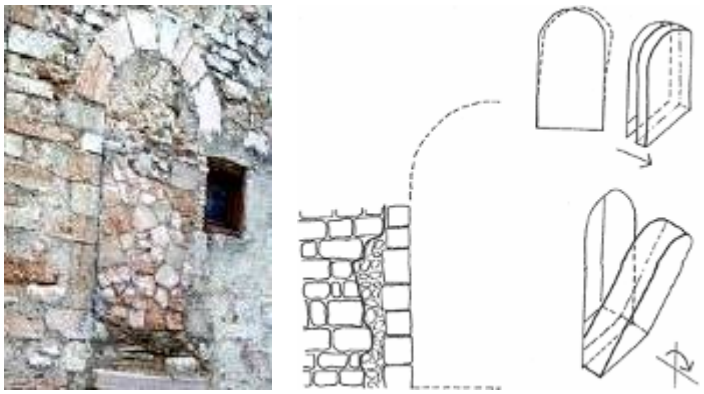


Figura 69: Discontinuità causate dal riempimento di aperture e relativo schema di collasso (Doglioni et al., 2007)

Il deterioramento del materiale rappresenta una causa di indebolimento che potremmo definire naturale. Negli elementi verticali è causa di una diminuzione della resistenza a compressione.

Alla diminuzione di resistenza a compressione del materiale può sommarsi una diminuzione della sezione resistente come evidenziato in **Figura 70**.

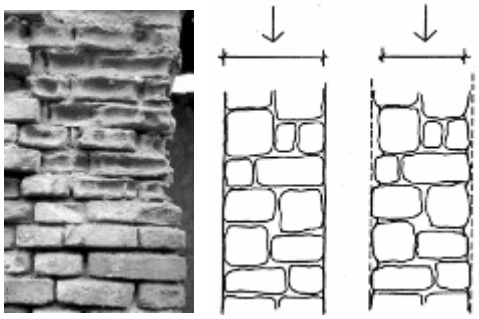


Figura 70: Diminuzione di capacità portante dovuta al deterioramento Binda et al., 1997; Doglioni et al., 2007)

La valutazione della stabilità di una parete deve essere fatta non soltanto tenendo in considerazione lo schema statico, ma anche le caratteristiche meccaniche e geometriche della muratura. La monoliticità della sezione è parametro fondamentale nel caso di rottura per rotazione al piede. Fenomeni di deterioramento del materiale o una scarsa connessione tra i paramenti, nel caso di murature a più strati, sono cause di attivazione di fenomeni di collasso locale, che anticipano la movimentazione dell'intera parete e provocano crolli la cui dinamica può essere difficilmente prevedibile senza una dettagliata conoscenza dell'edificio. Il grado di connessione tra i paramenti diventa essenziale in questo caso per una corretta valutazione della vulnerabilità sismica.

La rotazione al piede delle pareti esterne rappresenta il meccanismo di collasso grave più frequente. La situazione peggiore si ha nei muri con il lato superiore libero e senza particolari vincoli con le pareti adiacenti. In questa situazione anche le più lievi sollecitazioni orizzontali possono movimentare il meccanismo, che è riconoscibile da lunghe lesioni verticali ai lati del muro e dalla presenza di fessure orizzontali. A volte al collasso del muro si accompagna il crollo del solaio.

I meccanismi fuori piano possono essere descritti dalle equazioni di equilibrio, dove le forze orizzontali che causano il ribaltamento sono contrastate dalle tensioni resistenti causate dalle connessioni esistenti e dalla resistenza del materiale (Valluzzi et al., 2007). La **Figura 72** riporta alcuni modelli cinematici per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce verticali, mentre la **Figura 73** per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce orizzontali.

I meccanismi fuori piano sono denominati anche meccanismi del "primo modo" perché sono quelli che si attivano per sollecitazioni anche molto basse. L'attivazione dipende solo da parametri geometrici e di massa. Sono i meccanismi più pericolosi perché portano ad una rottura di tipo fragile.

In relazione alle connessioni con i solai, al tipo di murature, alla geometria dei vincoli, alla natura del materiale e alla presenza di singolarità locali il meccanismo può coinvolgere uno o più piani dell'edificio. In taluni casi la rotazione può avvenire anche attorno ad una linea non orizzontale (**Figura 71**).

La normativa italiana prevede una verifica, in favore della sicurezza, considerando differenti posizioni orizzontali della cerniera.

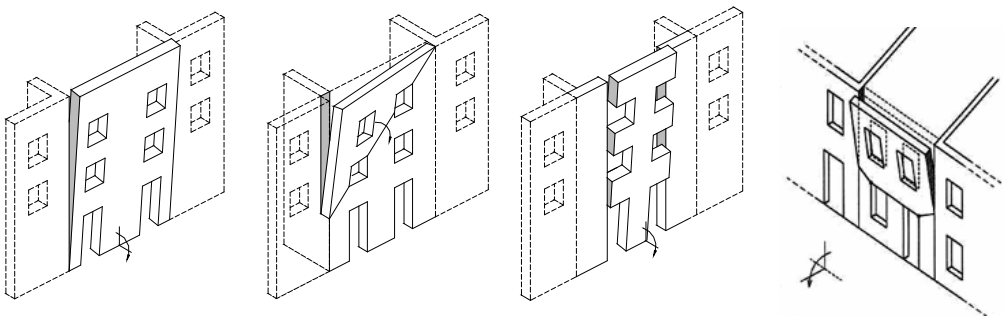


Figura 71: Schemi di collasso per rotazione al piede (D'Ayala et al., 2003b)

Se la parete è vincolata alla base e lungo il lato superiore la rottura sarà per flessione verticale fuori piano, con una dinamica differente, talvolta limitata a parte della muratura. Questo può succedere nel caso di una disposizione irregolare di vincoli o tiranti. Se i tiranti impediscono il collasso per rotazione in blocco dell'intero corpo murario, non possono evitare che altri fenomeni, quali ad esempio il martellamento dei solai, inneschino il movimento fuori piano della muratura che potrà coinvolgere, in funzione della natura stessa della muratura e dei vincoli, tutta la parete o parte di essa. Il coinvolgimento di un solaio nell'innesco del movimento rende facilmente intuibile come questo meccanismo possa coinvolgere più piani dell'edificio.

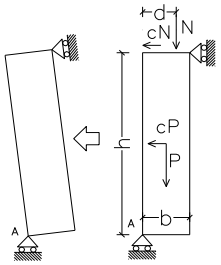
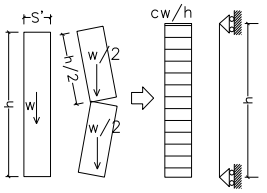
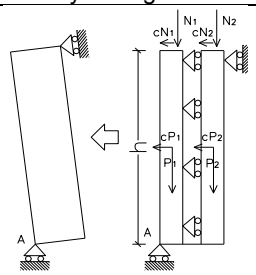
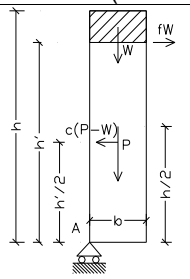
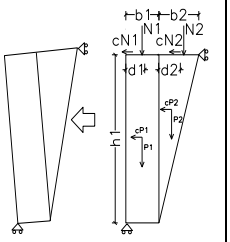
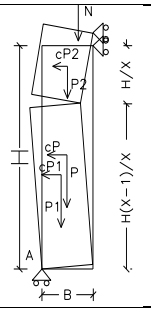
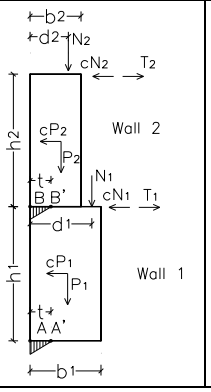
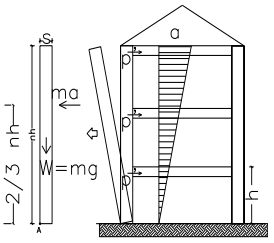
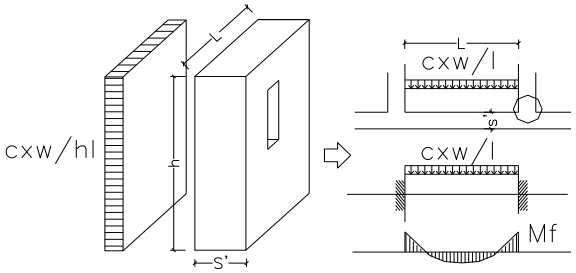
Overturnig of monolithic wall simply supported by orthogonal wall (Avorio et al., 2002a)		Out-of-plane collapse of wall subjected to high confining forces (Bernardini et al., 1988)	
	$c = \frac{P \times \frac{b}{2} + N \times d}{P \times \frac{h}{2} + N \times h}$		$c = \min\left(\frac{2s'}{h}; \frac{(\sigma_t + \frac{w}{2})\frac{4}{3}s'^2}{wh^2}\right)$
Overturning of double-layer wall simply supported by orthogonal wall (Avorio et al., 2002a)		**Overturning of wall restrained at top by ring beam (De Felice et al., 1999)**	
	$c = \frac{P_1 \times \frac{b_1}{2} + N_1 \times d_1}{(P_1 + P_2) \times \frac{h}{2} + (N_1 + N_2) \times h}$		$c = 2f\frac{h - h'}{h} + \frac{bh}{h'^2}$
Overturning of wall connected to perpendicular weak wall (Avorio et al., 2002a)		**Overturning of wall restrained at top by tie (Giuffrè et al., 1999)**	
	$c = \frac{P_1 \times \frac{b_1}{2} + N_1 \times d_1 + P_2 \times \left(b_1 + \frac{b_2}{3}\right) + N_2 \times (b_1 + d_2)}{P_1 \times \frac{h_1}{2} + N_1 \times h_1 + P_2 \times \frac{2h_1}{3} + N_2 \times h_1}$		$c = \frac{B}{H} \cdot \frac{2x + \left(\frac{N}{P}\right)(x+1)x}{x-1}$
Overturning of multi-floor walls not connected to orthogonal wall (Avorio et al., 2002a)		**Global overturning of wall with counteracting action of floors (Bernardini et al., 1988)**	
	$c = \frac{P_2 \times \frac{b_2}{2} + P_3 \times \frac{b_3}{2} + N_2 \times d_2 + N_3 \times d_3}{P_2 \times \frac{h_2}{2} + N_2 \times h_2 + P_3 \times \left(h_2 + \frac{h_3}{2}\right) + N_3 \times (h_2 + h_3)}$		$c = 0.75\frac{s}{h} \times \frac{1}{n} + \frac{p'}{W}n$

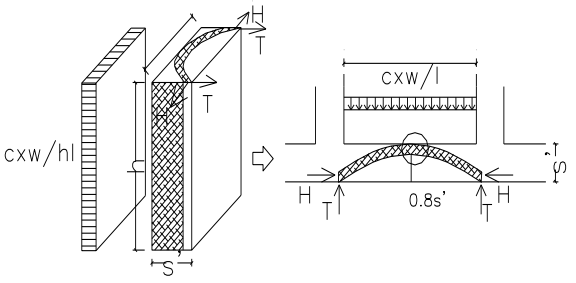
Figura 72: Modelli cinematici per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce verticali (Valluzzi et al., 2007)

Fixed beam mechanism



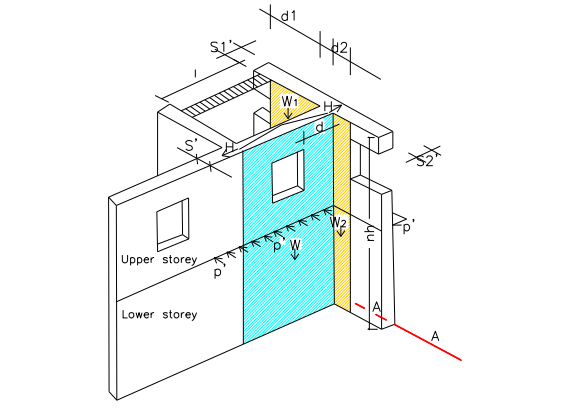
$$c = \frac{2\sigma_t \times h \times s'^2}{w \times l}$$

Arch effect in wall thickness: ultimate condition for masonry crushing



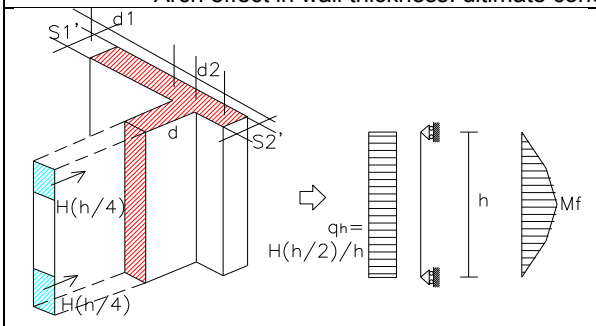
$$c = 1.28\frac{\sigma_c \times s'^2 \times h_{netta}}{w \times l}$$

Arch effect in wall thickness: ultimate condition for abutments overturning



$$c = \frac{P_e\left[\frac{d_1^2 s_1^2 + d_2^2 s_2^2}{2} + (s+l)^2\frac{s''}{8}\right] + p'(d_1+d_2)\frac{2}{3}n}{P_e\frac{l^2}{6.4}}$$

Arch effect in wall thickness: ultimate condition for compressive failure in section



$$c = \frac{(\sigma_t + P_e \times \frac{h}{2}) \times (2d \times \frac{d_1 s_1' + d_2 s_2'}{3} + d\frac{ds'}{6})}{\frac{P_e}{64} s \frac{l^2}{1.6s'} h^2}$$

Figura 73: Modelli cinematici per i meccanismi fuori piano che coinvolgono strisce orizzontali (Valluzzi et al., 2007)

Alcuni rilievi hanno evidenziato come la flessione verticale fuori piano si manifesti in edifici soggetti ad interventi di rinforzo con travi in cemento armato non ancorate a tutta la sezione del muro perimetrale. Nel caso di pareti a strato multiplo il collasso può coinvolgere solamente lo strato più esterno.

La **Figura 74** riporta uno schema descrittivo, un esempio e il modello cinematico proprio di questo meccanismo.

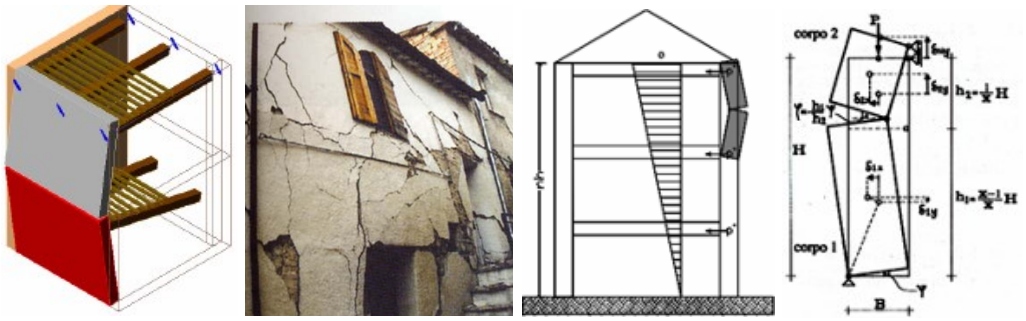


Figura 74: Schemi ed esempi di rottura per flessione verticale fuori piano (Borri et al., 2004a, Borri et al., 2004b)

Nel caso in cui la parete sia vincolata ai lati ma non sopra e sotto si parla di rottura per flessione orizzontale fuori piano. Le travi dei solai possono esercitare una spinta ortogonale alla parete, ma sono anch'esse vincolate alle pareti laterali adiacenti. Si crea così un effetto arco dove il limite di equilibrio è caratterizzato dallo sviluppo di tre cerniere, una in centro e due ai lati della muratura, come riportato in **Figura 75**.

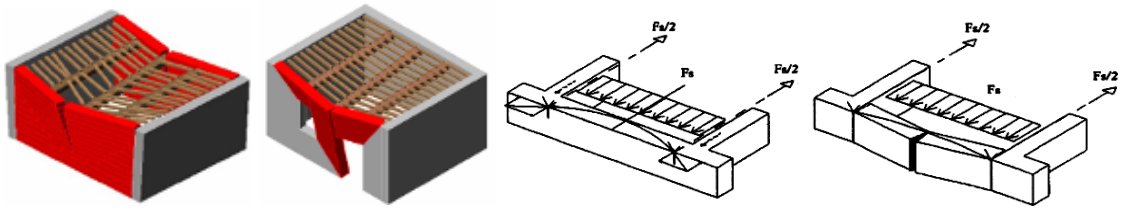


Figura 75: Schemi ed esempi di rottura per flessione orizzontale fuori piano (Borri et al., 2004a, Borri et al., 2004b)

Se la qualità delle connessioni è buona e la muratura di buona qualità l'effetto produrrà solo compressione nel lato interno; un degrado del materiale si traduce invece nel collasso anche per sollecitazioni orizzontali di modeste entità. Fattori che possono influenzare negativamente la resistenza a questo tipo di vulnerabilità sono tutte le discontinuità interne della muratura, con particolare rilievo per le zone cave, quali canne fumarie o fori per pluviali nel corpo della muratura, che causano il localizzarsi di cerniere in loro prossimità innescando il meccanismo (**Figura 76**).

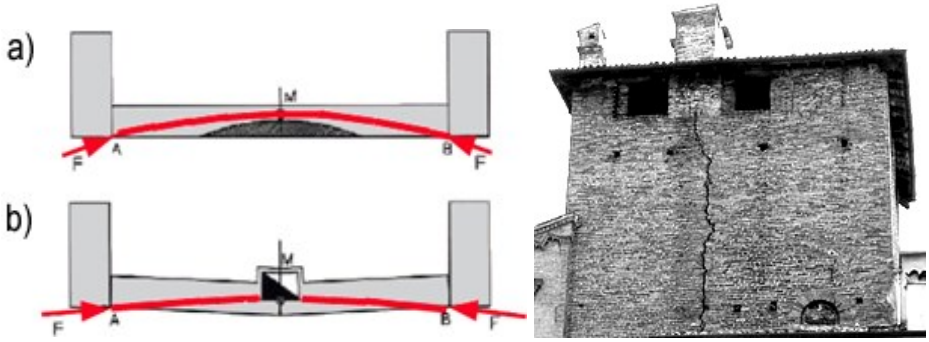


Figura 76: La presenza di canne fumerie facilita la creazione di cerniere che mobilizzano il meccanismo di rottura per flessione orizzontale fuori piano (Borri et al., 2004b)

In assenza di grossi fenomeni fessurativi non è sempre facile individuare il cinematismo del probabile meccanismo di collasso. Una attenta valutazione dell'opera si rivela dunque anche in questo caso indispensabile per una valutazione plausibile delle vulnerabilità strutturali.

Nel caso di precedenti interventi di rinforzo, come ad esempio tiranti, a distribuzione non omogenea, le discontinuità di resistenza locale possono facilmente generare meccanismi differenti e contemporanei. La valutazione delle possibili vulnerabilità va dunque valutata caso per caso analizzando tutti i possibili fattori: geometrici, meccanici e costruttivi.

La **Figura 77** descrive alcuni schemi di rotture complesse ed un esempio reale di collasso di una porzione angolare di edificio.

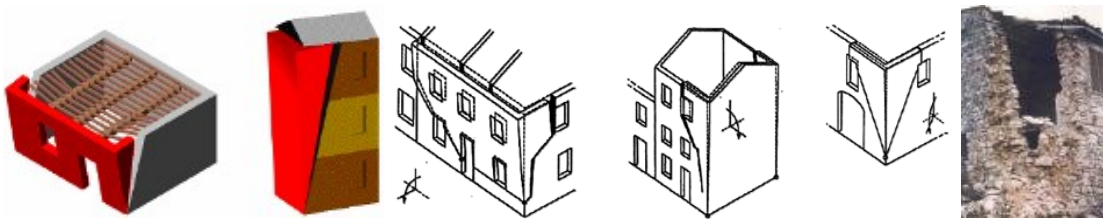


Figura 77: Esempi di rottura fuori piano con meccanismi misti (Avorio et al., 2002a; Doglioni, 1999)

Nel caso di pareti in pietra la mancanza di monoliticità della sezione trasversale rappresenta il difetto più grande, riscontrabile nel caso di murature costituite da piccoli elementi oppure in murature a più strati scarsamente connessi o addirittura non connessi tra loro. In questo caso il muro soggetto ad azioni orizzontali presenta rotture fragili con conseguente collasso fuori piano. Lo stesso succede in caso di carichi verticali eccentrici o comunque destabilizzanti per la muratura.

Occorre puntualizzare che la tessitura regolare di una parete non sempre è garanzia di una corrispondente regolarità della morfologia della sezione, né di un adeguato livello di monoliticità. Questo implica che solamente un approfondito livello di indagine offre elementi sufficienti a valutare tutti i parametri in gioco contribuendo ad una corretta stima della vulnerabilità sismica di un edificio storico.

Se l'attivazione dei meccanismi fuori piano dipende solo da parametri geometrici e di massa, in quella dei meccanismi nel piano, maggiormente vincolati e detti anche del "secondo modo", si mettono in conto anche parametri che riguardano la resistenza del materiale.

Flessione e taglio sono le sollecitazioni che, nel piano, causano rispettivamente fratture orizzontali e diagonali, come evidenziato nello schema riportati in **Figura 78**.

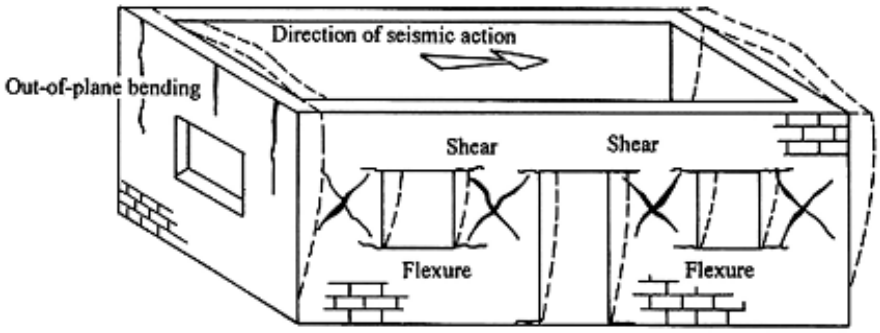
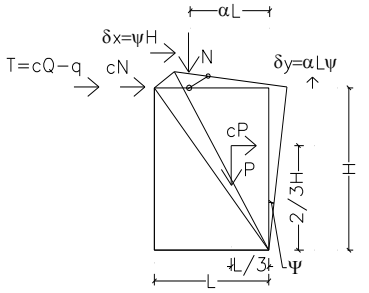


Figura 78: Tipologie di danno nelle pereti di un edificio soggetto ad azione sismica (Tomaževič, 2000)

Le rotture a flessione sono principalmente di due tipi in relazione al rapporto tra carico verticale e resistenza a compressione. Nel caso in cui tale rapporto è basso, i carichi orizzontali provocano fessure orizzontali dovute a trazione agli angoli e la parete si comporta come un corpo semi-rigido in rotazione attorno al piede.

Se al contrario il rapporto è alto, le fessurazioni saranno per lo più verticali in prossimità dell'angolo più compresso. In entrambi i casi, comunque, il collasso avviene per cedimento degli angoli compressi.

La **Figura 79** illustra alcuni schemi di per pereti soggette ad azioni nel piano derivati dall'applicazione delle equazioni di equilibrio.



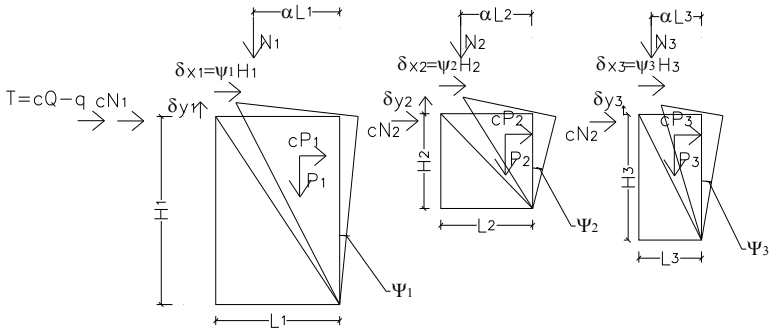
Equilibrium condition:

$$-N\times\alpha L - P\times\frac{L}{3} - q\times H + c(N\times H + Q\times H + P\times\frac{2}{3}H) = 0$$

Collapse coefficient:

$$c = \frac{N\times\alpha L + P\times\frac{L}{3} + q\times H}{N\times H + Q\times H + P\times\frac{2}{3}H} = \frac{L}{H}\times\frac{N\alpha + \frac{P}{3} + q\frac{H}{L}}{N + 2\frac{P}{3} + Q}$$

a)



Equilibrium condition:

$$-N1\times 0.75L1 - N2\times 0.75L2\times\frac{H1}{H2} - N3\times 0.75L3\times\frac{H1}{H3} - P1\times\frac{L1}{3} - P2\times\frac{L2}{3}\times\frac{H1}{H2} - P3\times\frac{L3}{3}\times\frac{H1}{H3} - q\times H1 +$$

$$+ c(N1\times H1 + N2\times H2\times\frac{H1}{H2} + N3\times H3\times\frac{H1}{H3} + P1\times\frac{2}{3}\times H1 + P2\times\frac{2}{3}\times H2\times\frac{H1}{H2} + P3\times\frac{2}{3}\times H3\times\frac{H1}{H3} + Q\times H1 = 0$$

b) (Giuffrè, 1993)

Figura 79: Schema di modelli cinematici per pereti soggette ad azioni nel piano: a) muro singolo; b) sistema a paramenti multipli (Valluzzi et al., 2007)

Anche le rotture a taglio possono essere di due tipi in funzione, questa volta, di molteplici fattori quali la forma della parete, l'entità del carico verticale in relazione alla resistenza a scorrimento dei giunti orizzontali, le caratteristiche geometriche della muratura. La rottura avviene per scorrimento orizzontale oppure mediante fessurazioni diagonali che partono dal centro della parete e si propagano verso gli angoli (**Figura 80** e **Figura 81**).

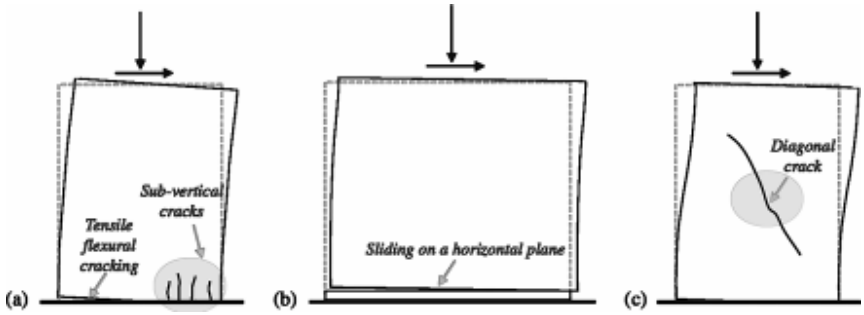


Figura 80: Tipologie di danno nel piano di pereti soggette a sollecitazioni orizzontali (Calderini et al., 2009)

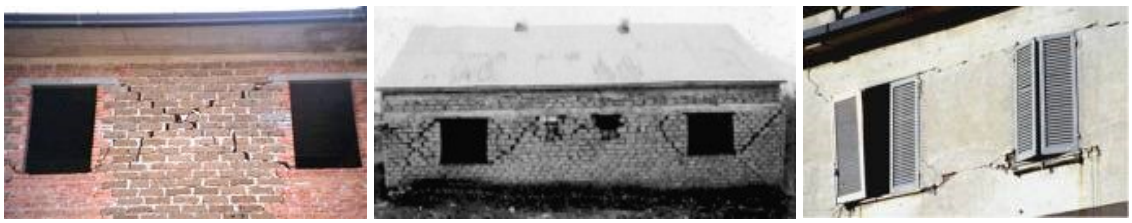


Figura 81: Esempi di rotture nel piano (Valluzzi et al., 2007; EEFIT, 1982)

La rottura per scorrimento orizzontale è tipica solamente di pareti con un rapporto tra altezza e larghezza molto basso (Magenes et al., 1992; Magenes et al., 1997), mentre già per pareti non troppo schiacciate le rotture a fessure diagonali tendono a prevalere (Mayes et al., 1975; Bosiljkov et al., 2003; Vasconcelos et al., 2006).

Le fessure diagonali possono interessare prevalentemente i giunti tra i blocchi costituenti la muratura se il livello di adesione della malta è basso, oppure possono riguardare gli stessi blocchi nel caso in cui la resistenza della malta è paragonabile a quella dei blocchi (**Figura 82**).

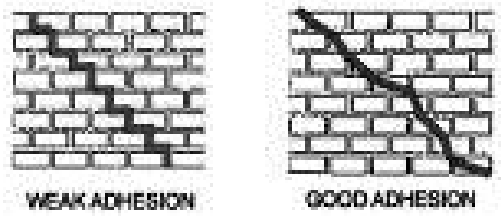


Figura 82: Fessurazioni diagonali in caso di buona o cattiva adesione della malta (Calderini et al., 2009)

Le rotture nel piano non portano in genere al collasso della struttura come quelle fuori piano, per cui possono essere considerate un meccanismo di collasso secondario (Giuffrè, 1993). Certo è comunque che le dinamiche di rottura nel piano possono contribuire a regolare i comportamenti fuori piano, soprattutto nel caso di muri non complanari interconnessi tra loro.

Non infrequentemente si notano fenomeni di collasso che sono una combinazione di quelli esposti in precedenza, sia nel piano che fuori piano. Può succedere ad esempio che un fenomeno di rotazione al piede coinvolge sia un muro che un angolo, parte del quale è danneggiata da una azione nel piano.

Per ciò che concerne le strutture in "Adobe", la dinamica globale di rottura si manifesta con un iniziale stato fessurativo nei punti di maggior tensione seguito da una oscillazione fuori piano con conseguente formazione di larghe lesioni verticali, per arrivare alla separazione della parete in conci che possono collassare per ribaltamento insieme o in modo indipendente (Vargas Neumann et al., 2006).

La **Figura 83** riporta alcune tipologie di danno osservabili nelle strutture in "Adobe", mentre un tentativo di classificare i principali meccanismi di collasso è stato fatto da Kiyono e Kalantari (Kiyono et al., 2004), che hanno distinto tra ribaltamento al piede (monolitico), scivolamento e ribaltamento di porzioni di muro per mancanza di aderenza della malta.

Gli elementi in terra a struttura omogenea presentano tipologie di danno del tutto simili a quelli in "Adobe" (**Figura 84**).

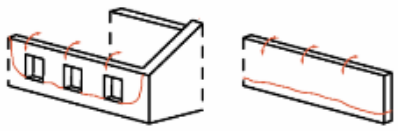
DESCRIZIONE	SCHEMA / ESEMPIO
Flessione fuori piano dei muri portanti Questo tipo di danno difficilmente porta al collasso della struttura limitandosi ad un marcato stato fessurativo.	
Scorrimento tra il muro e la struttura in legno Scorrimento della copertura o dei solai a causa di connessioni inadeguate. Fessurazioni orizzontali si osservano anche nel caso in cui il tetto è fissato ad un cordolo per scorrimento del cordolo sul muro, sempre a causa di un livello inadeguato di connessione.	
Danni da umidità Le precipitazioni, la risalita di umidità dal terreno, cicli ripetuti di secco e umido contribuiscono all'indebolimento della struttura causando o contribuendo a causare scivolamento alla base con conseguente rottura fuori piano.	
Danni agli angoli Il danno è dovuto alla concentrazione di tensioni all'intersesione di due muri perpendicolari. Spesso l'insufficienza o la mancanza di vincoli rende la sezione angolare libera di collassare verso l'esterno dell'edificio.	

Figura 83: Alcune tipologie di danno negli elementi verticali in "Adobe" (Tolles et al., 1996)

(Müller, 2002)	(Jaquin, 2008b)	(Hurd, 2006)
LESIONI VERTICALI	LESIONI VERTICALI AGLI ANGOLI	LESIONI DIAGONALI NEL PIANO PER TAGLIO

Figura 84: Tipologie di danno negli elementi verticali in terra a struttura omogenea (Müller, 2002; Jaquin, 2008b; Hurd, 2006)

La presenza di lesioni verticali agli angoli è stata osservata anche nel caso in cui il grado di connessione tra le pareti sia sufficiente (**Figura 85**). Una delle possibili cause è da ricondursi alla differenza di rigidezza tra le parti.

Figura 85: Fessurazioni verticali in un edificio in terra battuta soggetto ad azioni sismiche (MoHCA, 2011)

3.1.1.2 *Colonne*

Le strutture snelle quali pilastri e colonne sono particolarmente predisposte al ribaltamento fuori piano. Nelle colonne in pietra le azioni sismiche possono talvolta provocare anche una traslazione dei conci (**Figura 86**).

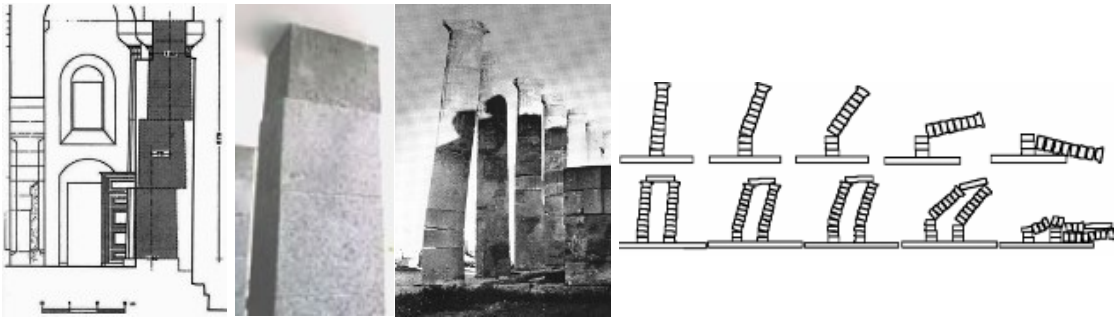


Figura 86: Esempi e schemi di slittamento dei conci e ribaltamento di colonne (Giuffrè, 1993; Sousa Oliveira et al., 2008)

Le sollecitazioni flessionali durante i terremoti provocano eccessi di sollecitazione alla base delle colonne che, sommati alla compressione di esercizio, provocano stati fessurativi anche di rimarchevole entità (**Figura 87**). A lungo termine la colonna non è più in grado di sopportare i normali carichi di esercizio e collassa; questo succede per livelli di compressione inferiori a quelli a cui il materiale resiste durante i test di compressione uniforme ed è noto come “creep” (Binda et al., 1992). Il fenomeno di “creep” può iniziare al 45-50% del valore di resistenza nominale in qualche pietra come ad esempio il calcare.

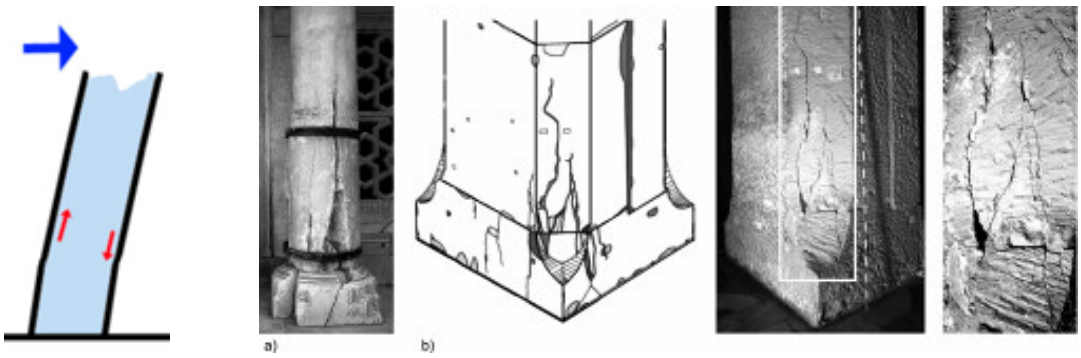


Figura 87: Concentrazione delle sollecitazioni e danni conseguenti in colonne soggette ad azioni flessionali durante gli eventi sismici (Binda e al., 2010)

La comparsa di stati fessurativi dovuti ad una eccessiva concentrazione tensionale è stata riportata in numerosi casi studio alla base sia di colonne e pilastri, sia di antiche torri (Binda, 2008). Lo stesso fenomeno compare laddove vi sia un livello significativo di sollecitazioni distribuite in modo non uniforme. Evidenze sperimentali hanno mostrato come lo sviluppo di fessure dovuto ad eccessi di compressione provochi un incremento evidente di deformazione laterale, con conseguente aumento del fenomeno fessurativo ed eventuale collasso dell’elemento. Azioni cicliche di normale esercizio dovute al vento o a variazioni di temperature, accoppiate ad eventi di minor entità come temporali o piccoli terremoti possono contribuire a peggiorare il livello di danno.

Anche la natura del materiale rappresenta un fattore significativo nella risposta dell’elemento, soprattutto in caso di materiali più deboli come pietre tenere o murature con giunti irregolari.

3.1.2 Elementi orizzontali

3.1.2.1 *Solai*

Le principali cause di degrado e fonti di possibili danni nei solai in legno sono: la deformazione della struttura portante, il cedimento dei supporti e il degrado del materiale.

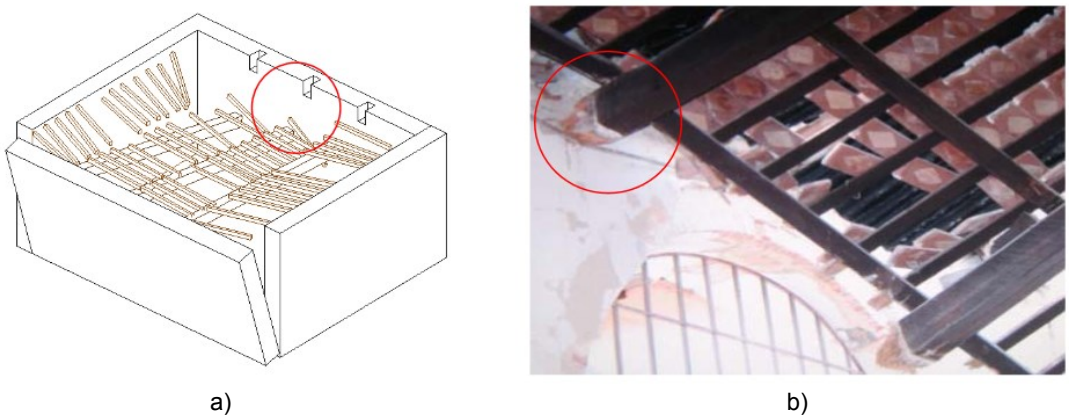
Nel primo caso si verifica la perdita, totale o parziale, dell'orizzontalità del piano del solaio con possibile disallineamento dei supporti, sia principali che secondari (**Figura 88**a). Questo tipo di instabilità è dovuta ai carichi e alla capacità portante delle travi (Munafò, 1990). Il danno alle travi può essere localizzato in mezzeria o agli appoggi. La rottura per flessione in mezzeria può essere di tipo fragile, con fessurazione ortogonale alle fibre dall'estradosso teso fino all'asse neutro, oppure più plastica, con fessure longitudinali che si propagano dalla mezzeria lungo l'asse delle fibre verso gli appoggi. La rottura agli appoggi può avvenire per effetto flessionale, con fessurazione ortogonale all'asse della trave, oppure per taglio, con inclinazione delle fessure di 45° rispetto all'asse, oppure con una combinazione di queste due tipologie. I fenomeni fessurativi provocano una riduzione della sezione resistente aumentando le probabilità di rottura fragile. Un altro tipo di danno con meccanismo di rottura a flessione può essere causato dall'impatto conseguente al crollo di un muro o di una elemento dell'edificio (**Figura 88**b).

I danni agli appoggi sono causati dalla trasmissione del carico dal solaio ai muri portanti o alla natura e tipologia delle connessioni (Munafò, 1990). Sulle travi la rottura si manifesta con fessure a 45° su entrambi i lati dovute al taglio, causate dall'incremento dei carichi statici e dinamici, al degrado o a difetti del materiale, oppure a fattori connessi alla costruzione del solaio quali sezioni non omogenee oppure errata progettazione o totale assenza degli elementi di distribuzione del carico. Sulla muratura la rottura si manifesta come superamento della compressione del materiale a contatto con la trave, oppure dalla rotazione del supporto che causa, a sua volta, il movimento della trave di appoggio e, conseguentemente, del solaio.

a) b)

Figura 88: a) Danni ad un solaio ligneo causati dallo spostamento dei supporti (India) (UNESCO, 2007); b) Rottura del solaio dovuto all'impatto in seguito al crollo di un muro (India) (UNESCO, 2007)

Le azioni dinamiche orizzontali, prodotte ad esempio da un sisma o da un movimento delle fondazioni, possono causare uno spostamento orizzontale dei supporti con conseguente distacco del solaio dal muro, o spostamento delle travi o effetti di martellamento del solaio sulla muratura (**Figura 89**).



a) b)

Figura 89: a) Schema di sfilamento delle travi di un solaio ligneo (Cangi, 2009); b) sfilamento delle travi in un edificio aggravata da un ammaloramento diffuso delle teste (L'Aquila – Italia) (Cangi, 2009)

3.1.2.2 *Coperture*

I danni alle coperture possono manifestarsi per un movimento dei giunti o della catena. Danni locali anche modesti o uno spostamento delle tegole possono provocare col tempo il degrado delle travi.

In **Figura 90** il degrado della connessione tra l'ometto e un contraffisso causa uno slittamento del puntone che insiste direttamente sul muro. La sequenza mostra come nascono pericolosi eccessi di carico sulla catena e spinte laterali sui muri portanti.

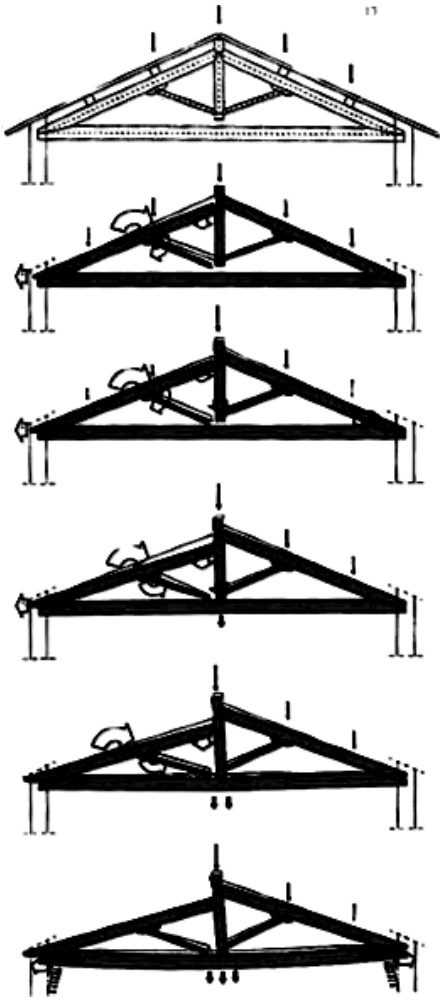


Figura 90: Sequenza di rottura di una capriata con conseguente eccesso di carico sulla catena e spinta laterale sui muri portanti (Tampone, 2001)

Il degrado del nodo puntone-catena è assai frequente ed è dovuto ad attacchi biologici o alle condizioni di umidità (**Figura 91**) e può causare il collasso della capriata o anomalie di carico nei muri portanti, mentre un eccesso di carico gli appoggi può danneggiare un muro portante in pietra o muratura a paramento multiplo, come illustrato in **Figura 92**

a) b)

Figura 91: a) Collasso della capriata dovuto al degrado del nodo puntone-catena (Doglioni et al., 2007); b) Nodo puntone-catena ammalorato [Sito 26]

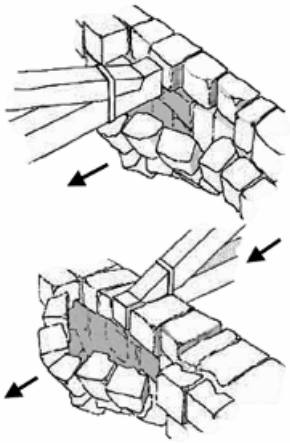


Figura 92: Danni alla muratura portante a più paramenti dovuti ad un eccesso di carico agli appoggi (Doglioni, 1999)

L'eccesso di sollecitazioni sulla connessione tra il nodo puntone-catena e l'appoggio, favorite dal degrado del materiale, possono danneggiare comunque il giunto con rottura delle travi e collasso dei parte della copertura (**Figura 93**).

Figura 93: Danni sulle capriate a seguito del terremoto (Castroreale – Italia) [Sito 30]

I movimenti indotti dal sisma portano solai e coperture ad insistere orizzontalmente sui muri portanti con azioni di martellamento, che si traducono in danneggiamenti locali o globali della muratura, con eventuale collasso parziale o globale della copertura stessa. Negli edifici religiosi può accadere anche che il crollo del campanile o del minareto sulla copertura sottostante si traduca nel collasso parziale o totale della copertura stessa e, talvolta, per effetto combinato, anche della facciata o dell'abside.

La **Figura 94** riporta alcuni esempi dell'azione di martellamento delle coperture sui muri portanti, mentre nella **Figura 95** sono riportati alcuni casi di crollo parziale o totale della copertura di edifici religiosi.

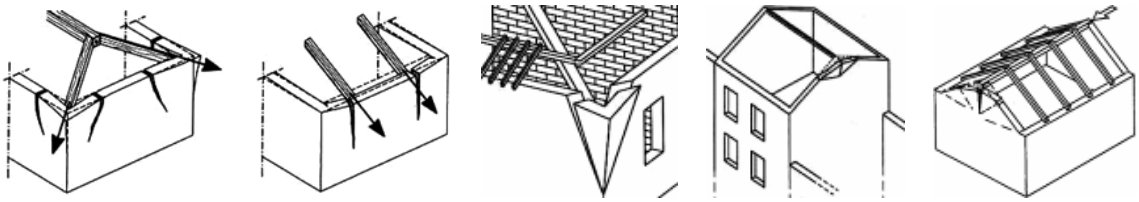


Figura 94: Esempi di azioni di martellamento sui muri portanti dovuti al movimento delle coperture (Doglioni, 1999)

a) b)

Figura 95: a) Crollo del campanile, della copertura e collasso parziale fuori piano della facciata (Bazzano – Italia) [Sito 28]; b) Collasso totale della copertura dovuta al cedimento degli appoggi (L'Aquila – Italia) [Sito 29]

Le azioni orizzontali possono causare anche la traslazione rigida longitudinale della trave di colmo e, conseguentemente, delle capriate in chiave, con mobilitazione di tutta la copertura (**Figura 96**).

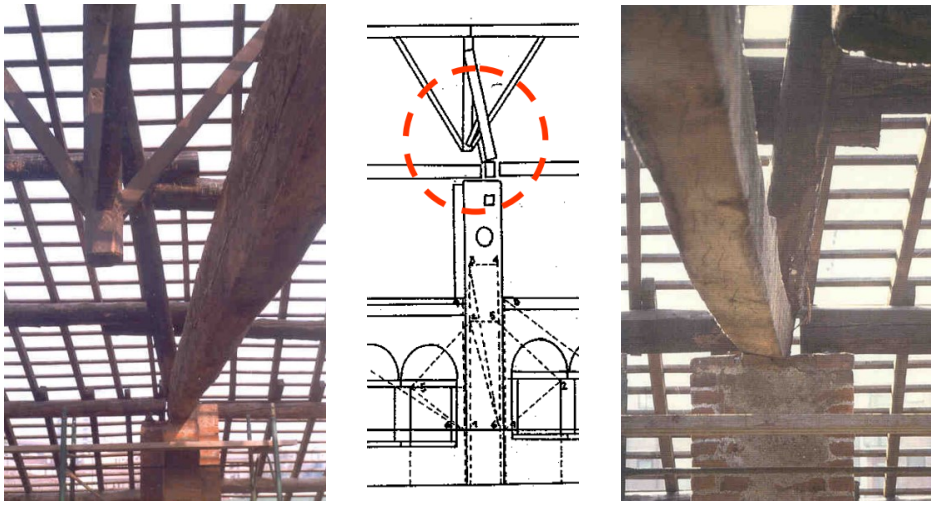


Figura 96: Danneggiamento dovuto alla traslazione della trave di colmo (Cardani, [Sito 27])

3.1.3 Archi, volte e cupole

Una possibile classificazione dei meccanismi di collasso delle volte può essere basata sulle cause, tra cui le più significative sono lo spostamento relativo degli appoggi, la variazione dei carichi e il degrado dei materiali. Per quanto riguarda lo spostamento degli appoggi distinguiamo tra lo spostamento nella direzione perpendicolare alla generatrice della volta, cedimento differenziale dei piedritti e scorrimento longitudinale.

La **Figura 97** illustra alcune modalità di collasso delle volte dovute all'allontanamento delle imposte e allo scorrimento dei muri perimetrali.

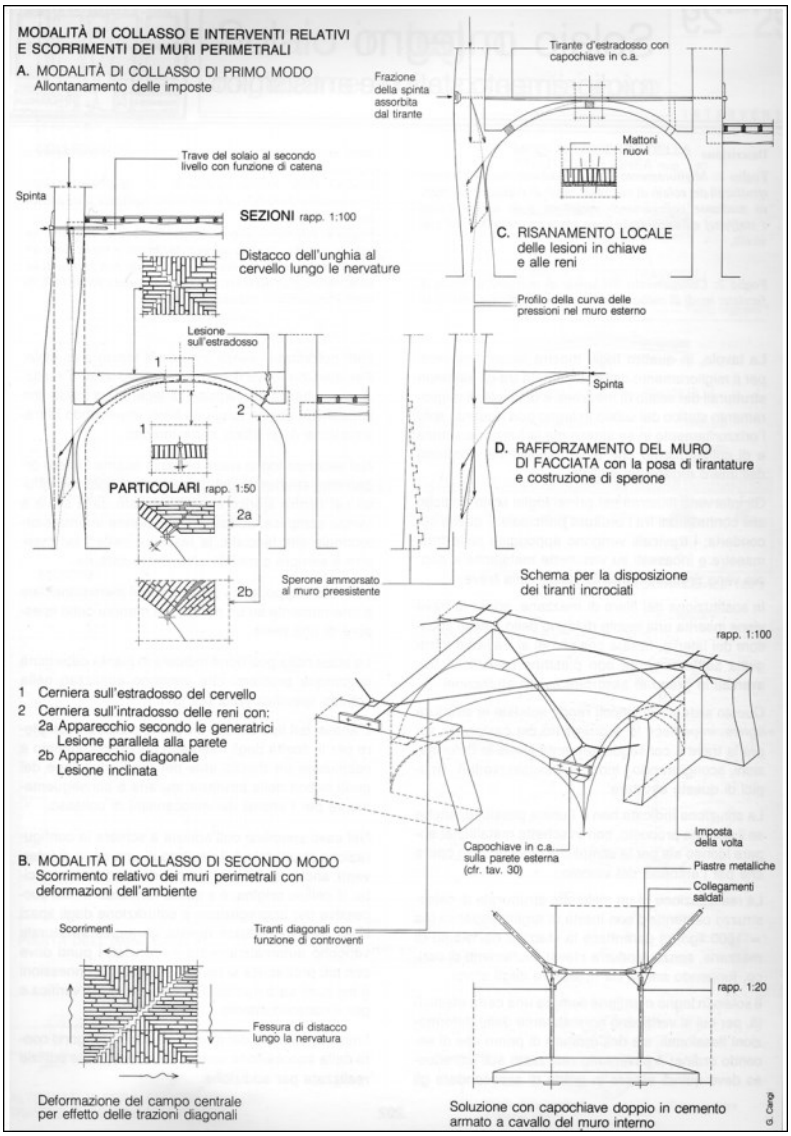


Figura 97: Modalità di collasso delle volte (Giovanetti, 1998)

La tessitura della muratura ha un ruolo importante nel comportamento statico della volta. Ad esempio, nelle volte a botte, la particolare tessitura può far variare il comportamento da una serie di archi adiacenti ad un elemento tridimensionale di tipo "shell" (Cattari et al., 2008). Essa influenza anche la forma e l'evoluzione delle fessure contribuendo in modo significativo all'evoluzione dinamica del collasso.

Altri fattori di influenza dei meccanismi di collasso delle volte possono essere la presenza di riempimenti nella muratura, elementi di supporto o particolari condizioni di vincolo dovuti a metodi tradizionali di costruzioni o derivanti da danni pregressi o da interventi successivi alla costruzione.

Figura 98: Danni al riempimento di una volta dovuti al movimento dei muri perimetrali (Doglioni, 2007)

Le lunette nelle volte a botte sono costruite molto spesso prive di connessione con i muri perimetrali; in questa condizione agiscono a compressione come contrafforti nel caso di oscillazioni asincrone della volta e del muro e non subiscono particolari danni nel caso di rotazione del muro (Cattari et al., 2008).

Negli archi trionfali delle chiese il collasso si mobilita con un meccanismo a quattro o più cerniere. Questo può coinvolgere la rotazione al piede di entrambi i piedritti, oppure la rotazione di uno solo con la rottura dell'altro o del giunto tra l'altro e l'arco, come illustrato in **Figura 99**.

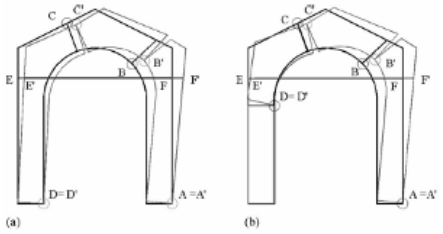


Figura 99: Meccanismo di collasso a quattro cerniere dell'arco trionfale; a) rotazione di entrambe le colonne; b) rotazione di una sola colonna (Lagomarsino et al., 2009)

Gli studi sul comportamento strutturale delle volte soggette ad azioni sismiche sono tutt'altro che esaustivi e molto meno approfonditi di quelli riguardanti le pareti. Quello che è evidente dai rilievi effettuati sulle strutture danneggiate è che le azioni dinamiche indotte dal terremoto inducono deformazioni nella curvatura degli archi e oscillazioni delle spalle.

Tra gli studi finalizzati ad una quantificazione analitica dei parametri di sollecitazione, deformazione e resistenza in gioco, si ricordano quelli di Housner, Abruzzese e Lagomarsino (Housner, 1963; Abruzzese et al., 1999; Lagomarsino et al., 2004b) derivati dall'applicazione del principio dei lavori virtuali. Altri studi, sempre basati sul principio dei lavori virtuali (Como et al., 1991) o su modelli analitici semplificati (Giuriani et al., 2007), hanno indagato la vulnerabilità sismica di archi soggetti ad oscillazioni asincrone degli appoggi. Questi studi hanno mostrato che, se da un lato, in condizioni di riposo, gli appoggi riescono a sostenere quasi del tutto la spinta laterale dell'arco, l'effetto oscillatorio compromette seriamente tale capacità e dunque eventuali tiranti di rinforzo dovranno essere dimensionati anche per il contenimento della spinta laterale durante il manifestarsi di azioni sismiche.

L'effetto di sollecitazioni orizzontali sulle volte a botte è stato indagato da Marini (Marini et al., 2008) mediante test ciclici su archi in muratura e su modelli agli elementi finiti. Anche in questo caso la rottura è avvenuta con un meccanismo a quattro cerniere e con un significativo aumento di sollecitazione agli appoggi a seguito dei fenomeni oscillatori. La **Figura 100** illustra i possibili dissesti a cui è soggetta una volta a botte.

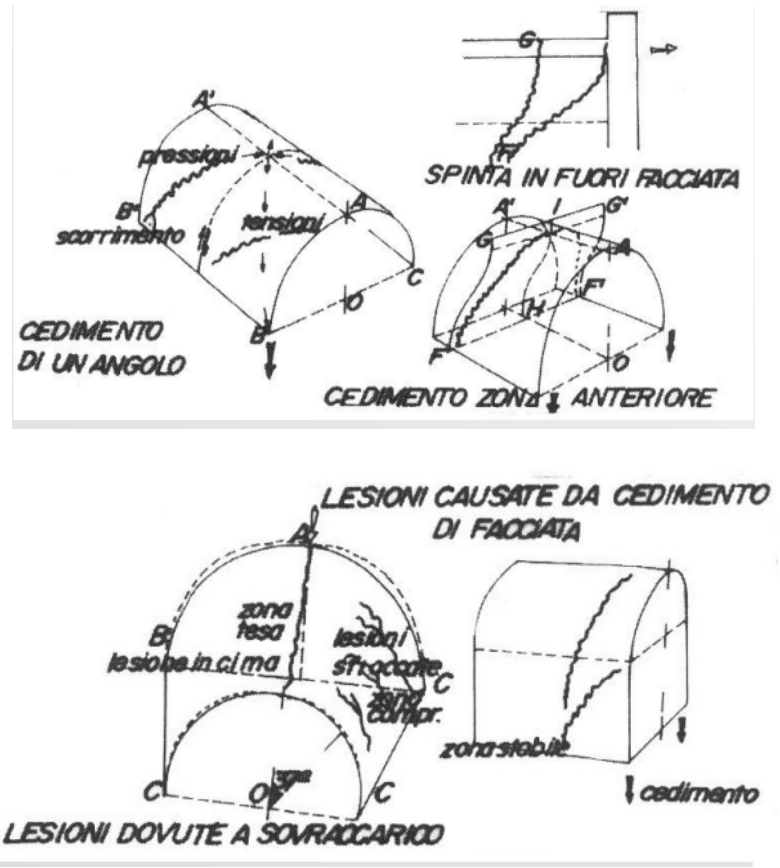


Figura 100: Tipologie fessurative nelle volte a botte (Piccirilli, 1989)

Nelle volte a croce si possono osservare tre modalità fessurative (**Figura 101**): lesioni nelle volte principali in chiave, che corrispondono a cerniere plastiche all'intradosso, fessure di Sabouret e lesioni che separano i pannelli della volta dai muri (Abraham, 1934). Le fessure di Sabouret compaiono per un movimento del muro portante e l'incapacità di adattamento della volta alla nuova conformazione, che porta separazione del pannello della volta.

Indagini analitiche hanno mostrato come fenomeni fessurativi diagonali compaiono anche in volte rigidamente confinate. In questi casi, però, si sviluppano nel corpo della volta una serie di archi naturali che ridistribuiscono il carico verso gli appoggi angolari limitando la possibilità di collasso (D'Ayala et al., 2008).

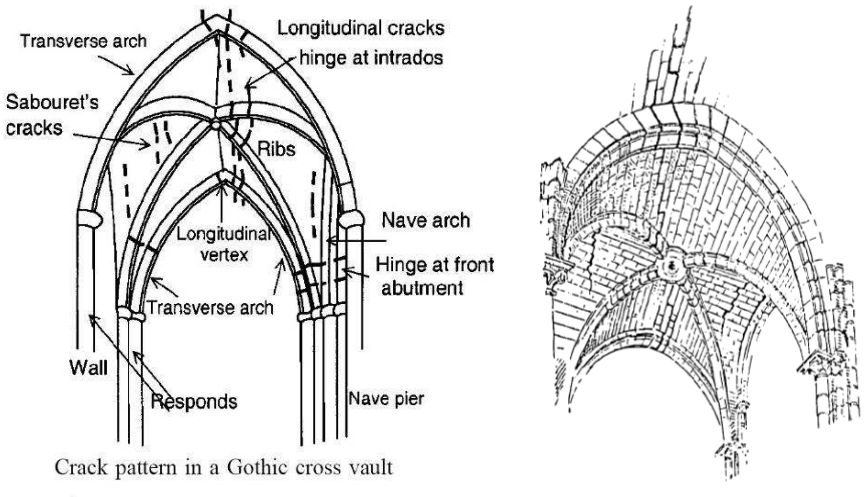


Figura 101: Tipologie fessurative nelle volte a croce (Heyman, 1995; Abraham, 1934)

La volta può anche collassare per scivolamento, anche se questa modalità non è contemplata nell'approccio classico, che considera l'attrito infinito e lo scivolamento impossibile. In realtà sono stati osservati fenomeni di scivolamento legati al deterioramento delle malte o delle superfici di contatto.

Il comportamento strutturale delle volte a padiglione può variare con il rapporto luce-altezza. Più la volta è bassa più aumentano le sollecitazioni flessionali e la possibilità di fessurazioni all'intradosso, nonché l'entità della spinta laterale sugli appoggi. La **Figura 102** riporta uno schema di dissesto di una volta a padiglione.

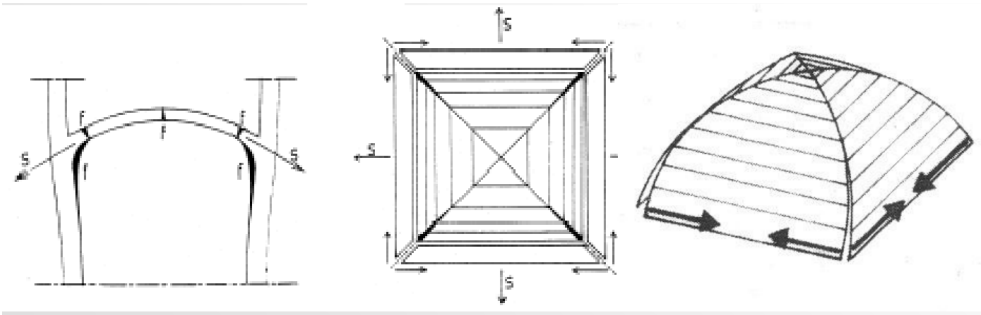


Figura 102: Sollecitazioni e lesioni nelle volte a padiglione (Piccirilli, 1989)

Anche nelle volte a vela i cedimenti possono essere dovuti ad un movimento degli appoggi o ad un eccesso di carico. L'eccesso di compressione provoca fessure con andamento verticale, mentre il collasso può succedere per eccesso di trazione all'intradosso, come illustrato in **Figura 103**.

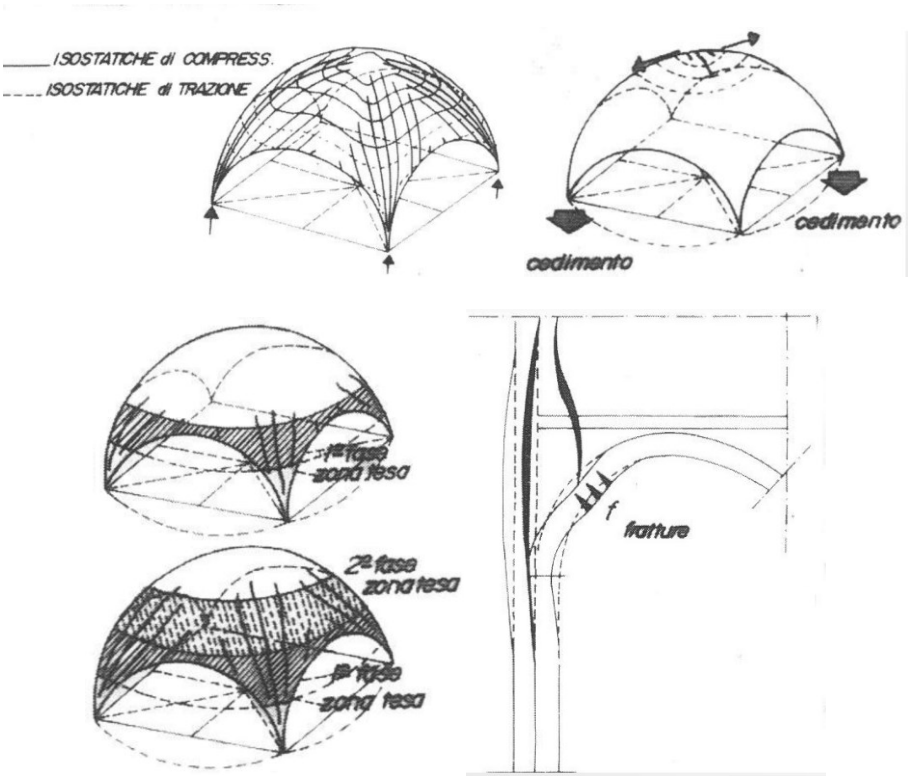


Figura 103: Sollecitazioni e lesioni nelle volte a vela (Piccirilli, 1989)

Un comportamento molto simile alle volte a vela si osserva nelle cupole, con la formazione di fessure verticali fino alla suddivisione in spicchi verticali per eccesso di carico, come evidenziato nello schema di **Figura 104**.

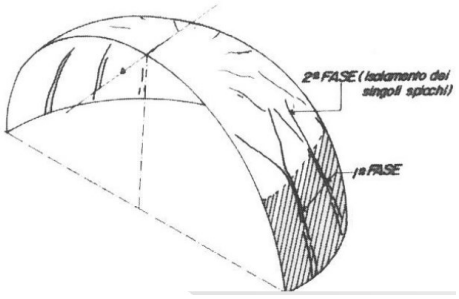


Figura 104: Meccanismo di fessurazione e suddivisione in spicchi nelle cupole (Piccirilli, 1989)

Per quanto riguarda le cupole in “Adobe”, le indagini susseguenti al terremoto di Arg-e-Bam in Iran del 2003 hanno evidenziato che le cupole con pennacchi non hanno alcuna capacità di resistenza alle azioni sismiche. I quattro segmenti della cupola sono in genere male connessi reciprocamente e i corsi di mattoni si intersecano ad angolo retto nell’asse mediano causando un possibile punto di fragilità locale con conseguente concentrazione del danno. Le fessure provocate dall’eccesso di sollecitazione indotta dall’evento sismico si concentrano dunque sulle linee di cambio di curvatura dei corsi e, nei casi peggiori, anche lungo le diagonali (Licciardi, 2008). Nei casi peggiori si ha il collasso dell’intera struttura ad eccezione dell’imposta dei pennacchi connessa ai muri portanti (**Figura 105**).

Figura 105: Meccanismo di fessurazione delle cupole in “Adobe” con pennacchi (primo tipo) ed esempio di collasso quasi completo (Arg-e-Bam – Iran) (Licciardi, 2008)

Un miglior comportamento è stato evidenziato dalle cupole a corsi concentrici per le quali il collasso è provocato solitamente dal cedimento o spostamento dei muri portanti.

3.2 *MECCANISMI DIPENDENTI DALLA TIPOLOGIA DI EDIFICIO*

La valutazione della tipologia di edificio è molto importante per lo studio dei meccanismi di collasso, dal momento che la particolare conformazione del manufatto e la sua relazione con ciò che lo circonda ne influenzano l’attivazione le dinamiche.

Generalmente nelle zone maggiormente danneggiate da un terremoto le strutture sono edifici residenziali che presentano una notevole varietà di configurazioni, dimensioni e aperture. Molto frequentemente nei centri storici gli edifici costituiscono un agglomerato non uniforme a sviluppo lineare, come risultato dello sviluppo urbano nei secoli. Soprattutto nei borghi medievali le strade sono molto strette ed estremamente pericolose in caso di crollo anche solo di piccole parti di edificio. L’assenza di zone di sicurezza, quali ampie piazze e parchi, unita con la conformazione solitamente collinare del terreno contribuiscono ulteriormente ad aumentare il livello di pericolosità.

Le modifiche apportate agli edifici nel tempo, se sicuramente utili al vivere quotidiano, possono introdurre vulnerabilità sismiche non trascurabili. Un esempio tipico è l'adattamento del piano terra ad uso commerciale, con la demolizione sia dei muri interni, sia del muro di facciata sostituito da una vetrina, sicuramente più utile per i nuovi scopi commerciali. Le demolizioni delle murature, in eccesso secondo la nuova conformazione, avvenivano senza particolari valutazioni molto spesso indebolendo eccessivamente l'edificio. In **Figura 106** è evidente lo scorrimento del solaio di interpiano dovuto alla mancanza di resistenza alle azioni orizzontali.

Figura 106: Esempio di traslazione del solaio di interpiano e rottura a piano debole (Lèucade – Grecia) (Vintzileou et al., 2007)

3.2.1 Edifici isolati

Gli edifici isolati rappresentano la tipologia costruttiva più semplice e, sebbene poco frequente nei centri storici, molto diffusa per gli edifici in terra.

Tra gli esempi che vale la pena riportare, possiamo citare le case Tag del Kashmir, costruite con muri in "adobe" legati assieme da travi in legno che corrono lungo il perimetro e sono presenti ad ogni piano, compreso quello di copertura. I solai in legno sono connessi a questi corsi lungo i muri in modo da garantire sufficiente monoliticità all'intera struttura e, sebbene molte caratteristiche non corrispondano ai moderni criteri di progettazione, come la pesantezza della copertura, malte poco o per nulla resistenti e insufficiente contenimento della muratura, questi edifici, alti fino a cinque piani, hanno evidenziato una buona risposta alle azioni sismiche (Neve, 1885; Gosain et al., 1967).

Analogamente, le case Newari in Nepal (**Figura 107**) hanno dimostrato una buon comportamento sismico grazie agli accorgimenti costruttivi che le caratterizzano. Edifici a tre piani, utilizzano dei pioli in legno per evitare che le travi dei solai scivolino via dalle murature. Le travi degli interpiani si spingono fino all'esterno e sono fissate con i pioli solitamente da entrambe le parti del muro. Comunemente i pioli si agganciano ad una placca lignea che corre lungo tutto il muro interno, anche se talvolta la placca è raddoppiata esternamente.

Figura 107: Esempio di casa Newari con le travi dei solai di interpiano ben visibili (Nepal) [Sito 23]

Questo accorgimento si è rivelato molto efficace nel garantire il comportamento scatolare dell'edificio e nell'evitare fenomeni di distacco e rottura fuori piano dei suoi elementi (D'Ayala, 2009).

La più comune causa di collasso in seguito ad azioni sismiche delle case nella valle di Kathmandu, sempre in Nepal, è la rottura a piano debole che interessa il piano terra in cui una struttura a pilastri lignei collega il terreno ai piani superiori senza particolari rinforzi che possano agire come controventi (D'Ayala, 2006), come illustrato in **Figura 108**.

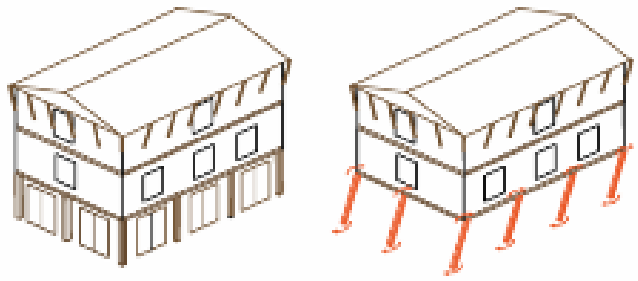


Figura 108: Schema di rottura a piano debole (D'Ayala, 2006)

Anche le case Tulou, tipiche del sud est della Cina, costruite in terra battuta fino a quattro piani in altezza con muri spessi fino a oltre due metri e di pianta rettangolare o circolare hanno fama di essere resistenti ai terremoti (Minke, 2006). Probabilmente ciò è dovuto alla loro compattezza e monoliticità. La **Figura 109** illustra alcune tipologie costruttive di questi edifici (Huang Hanmin, 1991).

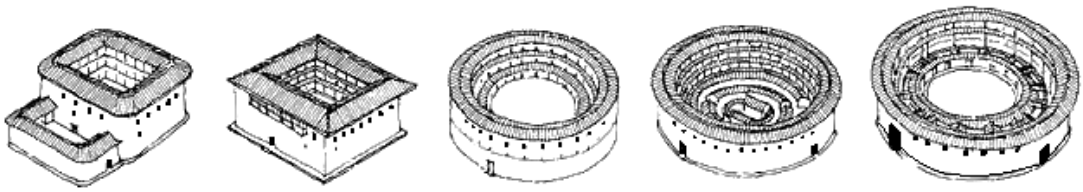


Figura 109: Case Tulou (Cina) (Huang Hanmin, 1991)

Quello che è evidente, comunque, è la scarsità di indagini e la ancora insufficiente conoscenza del comportamento sismico delle strutture in terra.

3.2.2 Agglomerati in linea

La conformazione tipica di un centro storico è quella di edifici interconnessi e affiancati tra loro, disposti lungo una linea che costeggia la strada (Carocci, 2001), come illustrato in **Figura 110**.

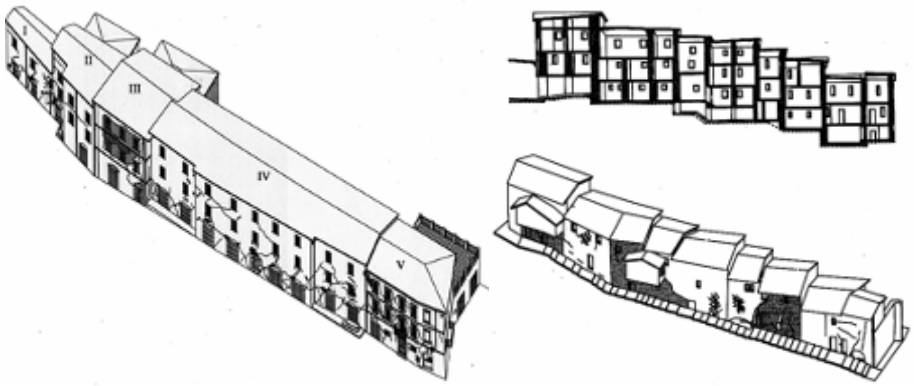


Figura 110: Schemi di blocchi di edifici a sviluppo longitudinale (Binda et al., 2005a)

Risulta evidente come storia evolutiva del blocco sia essenziale per comprendere il grado di interazione tra gli edifici e riuscire quindi a valutare le eventuali vulnerabilità sismiche. L'interazione può infatti comportare aspetti sia positivi che negativi, fornendo talvolta azione di contenimento e talvolta incrementando le spinte orizzontali e verticali, influenzando attivamente i meccanismi di collasso.

Ad esempio l'influenza della posizione di un edificio nel blocco risulta evidente andando a valutare gli edifici di testa, spesso i più danneggiati, che nel passato erano oggetto di particolare attenzione e rinforzati con tiranti e contrafforti. Lo schema di **Figura 111** illustra la particolare vulnerabilità di un edificio di testa.

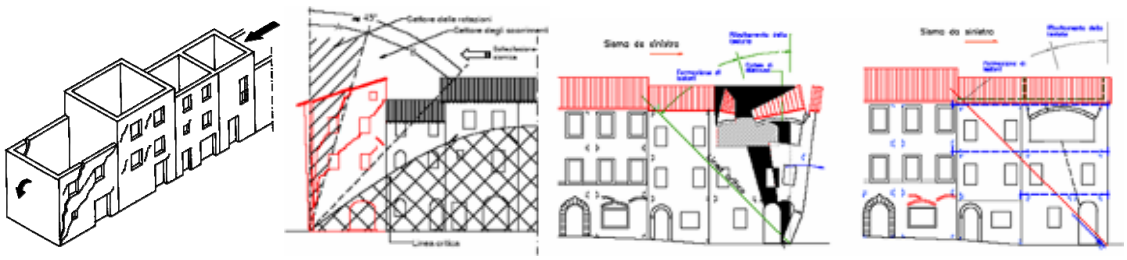


Figura 111: Schema di possibili danni in un edificio di testa in un blocco longitudinale (Gurrieri, 1999; Avorio et al., 2002b)

I danni spesso interessano tutti gli edifici e sono concentrati alla base delle strutture ad indicare che l'intera linea risponde come un singolo blocco alle oscillazioni sismiche con rotture a taglio nei piani inferiori, anziché rotture per martellamento reciproco ai piani superiori che si avrebbero se ciascun edificio oscillasse indipendentemente. È ovvio che gli edifici di testa soffrono della mancanza di contenimento nel lato libero e questo agevola l'incremento degli spostamenti fino al definitivo collasso (Giuffrè, 1993; Carocci, 2001).

Talvolta i danni all'intero blocco sono aumentati dalle spinte provocate dalle moderne coperture, più pesanti di quelle originali. In generale il più uniforme è il blocco, migliore sarà la risposta alle sollecitazioni dinamiche. In quest'ottica gli ammodernamenti dell'ultimo mezzo secolo possono risultare estremamente pericolosi perché effettuati senza rispettare alcun criterio di uniformità sia geometrica che strutturale. Variazioni di resistenza e rigidezza nei materiali, disallineamenti verticali o orizzontali sono da valutare con attenzione perché rappresentano i punti di innesco di lesioni dalle conseguenze anche gravi. Le figure seguenti riportano alcuni schemi in cui si evidenzia l'interazione negativa tra gli edifici nei punti di discontinuità.

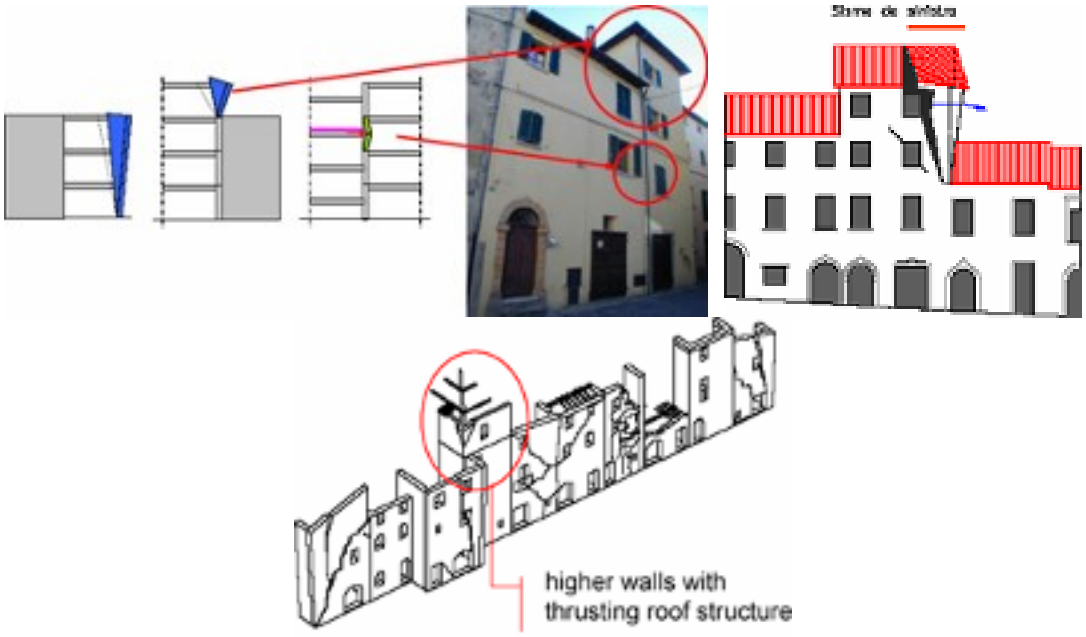


Figura 112: Danni dovuti a cambi in altezza in un blocco lineare di edifici (Guerreri, 1999)

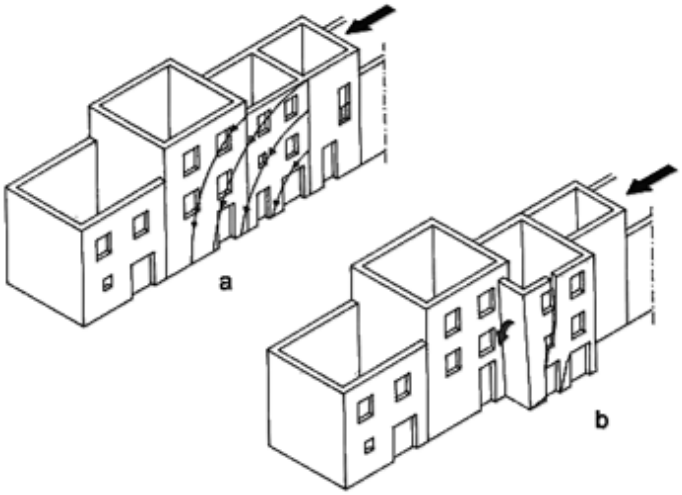


Figura 113: Danni dovuti al disallineamento in un blocco lineare di edifici (Guerreri, 1999)

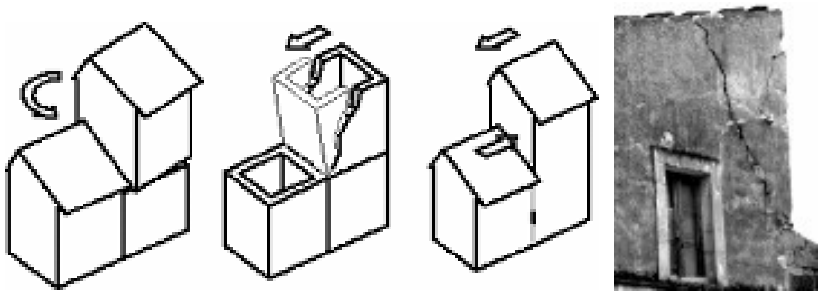


Figura 114: Danni dovuti a cambi di rigidezza in un blocco lineare di edifici: rotazione, ribaltamento parziale e martellamento (Binda et al., 2006a)

3.2.3 Aggregati complessi

Un'altra tipica conformazione dei centri storici e quella di blocchi complessi di edifici. Innalzamenti e allargamenti di edifici esistenti, costruzione di nuove abitazioni adiacenti alle precedenti e spesso con muri in comune hanno creato delle situazioni in cui la distinzione della singola unità strutturalmente indipendente è problematica, laddove impossibile. In quest'ottica una corretta valutazione della vulnerabilità sismica dovrebbe tenere in considerazione il comportamento globale del blocco come unità monolitica e, al tempo stesso, identificare l'influenza di ciascuna sua parte determinando le opportune condizioni al contorno e le possibili interazioni tra le parti, valutazioni entrambe particolarmente complesse.

Talvolta i meccanismi sono simili a quello dei blocchi lineari, ma molto più spesso l'interazione coinvolge entrambe le direzioni di sviluppo dell'aggregato, senza tenere conto che alcuni edifici potrebbero non essere allineati introducendo ulteriori variabili e rendendo ancor più complessa ogni considerazione. In ogni caso è indispensabile tenere conto sia dei possibili meccanismi locali, sia della distribuzione geometrica delle unità abitative. La **Figura 115** riporta alcuni schemi di agglomerati complessi rilevati in Umbria, mentre la **Figura 116** mostra la città fortificata di Ait-Ben-Haddou in Marocco, protetta dall'Unesco dal 1987, costituita da un agglomerato di edifici in terra tipico della zona pre-sahariana e i Sassi di Matera, anch'essi protetti dall'Unesco dal 1993.

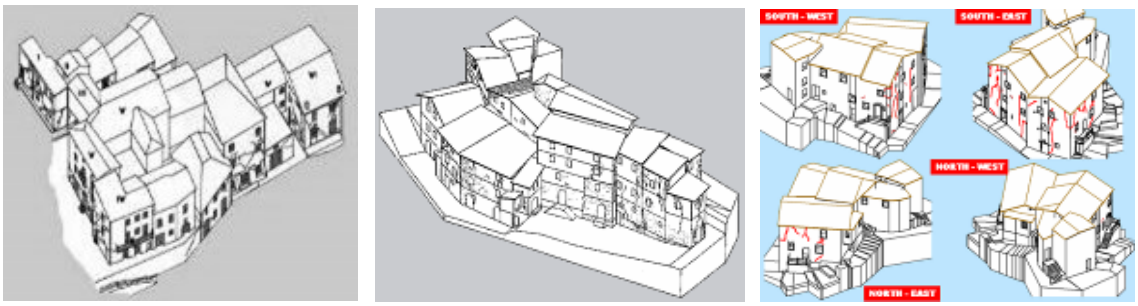


Figura 115: Agglomerati complessi in Umbria (Binda et al., 2006a)

a) b)

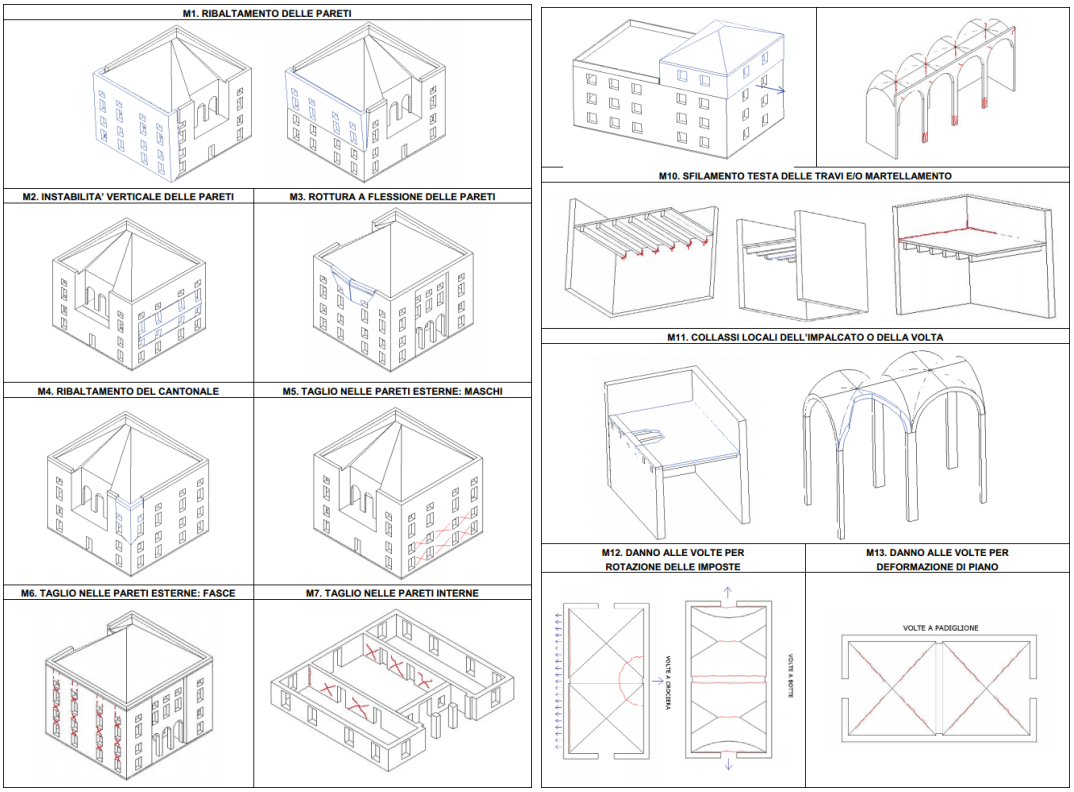
Figura 116: a) Città fortificata di Ait-Ben-Haddou (Marocco) [Sito 31]; Sassi di Matera (Matera – Italia)

3.2.4 Palazzi

I palazzi costituiscono una particolare tipologia costruttiva di edifici solitamente catalogati come monumenti e oggi adibiti solitamente a funzioni di pubblica utilità quali ad esempio uffici pubblici, musei, scuole o biblioteche. La presenza di spazi interni disomogenei adibiti in origine a differenti funzioni, come ad esempio cappelle, ampie sale e porticati rendono la stima di vulnerabilità più complessa delle normali unità abitative.

Nel caso i palazzi abbiano mantenuto la loro struttura originaria di progetto, comunque, la risposta alle azioni sismiche resta buona per il fatto che le connessioni tra le parti, pensate per far parte di un tutto, restano buone. Se invece il palazzo ha subito modifiche nel tempo questa unità può non essere più garantita e l'intera struttura presentare le stesse vulnerabilità di un agglomerato complesso. Questo è il caso dei palazzi originariamente costruiti ad uso privato e poi adeguati per uso pubblico. I pesanti cambiamenti che spesso questo tipo di conversione richiede per adeguarsi alle norme di sicurezza richieste possono portare a comportamenti inaspettati in caso di terremoto.

Il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha messo a punto una scheda di rilievo del danno per i palazzi per la valutazione di vulnerabilità sismica (Allegato 1), che riporta un abaco con 22 tipologie di danno classificate (**Figura 117**). Tale scheda è ora disponibile in una versione on-line riservata ad utenti selezionati [Sito 24].



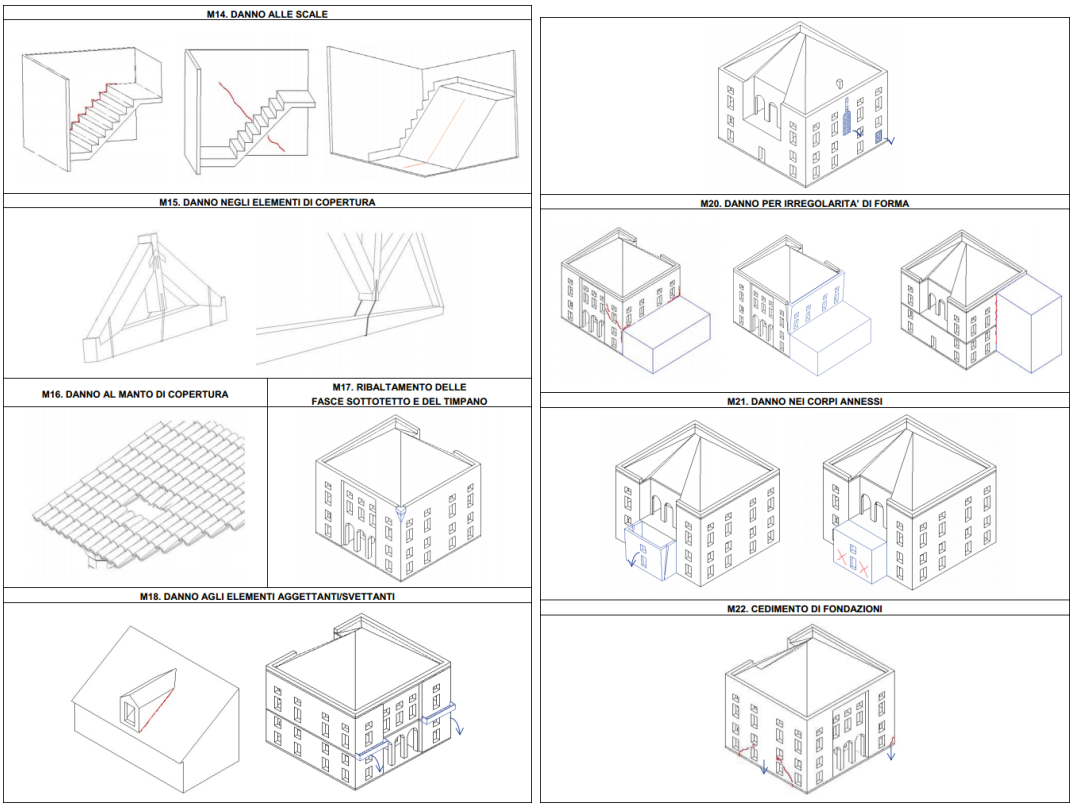


Figura 117: Abaco dei meccanismi di collasso dei palazzi, modello B-DP PCM-DPC MiBAC 2006

3.2.5 Edifici di culto

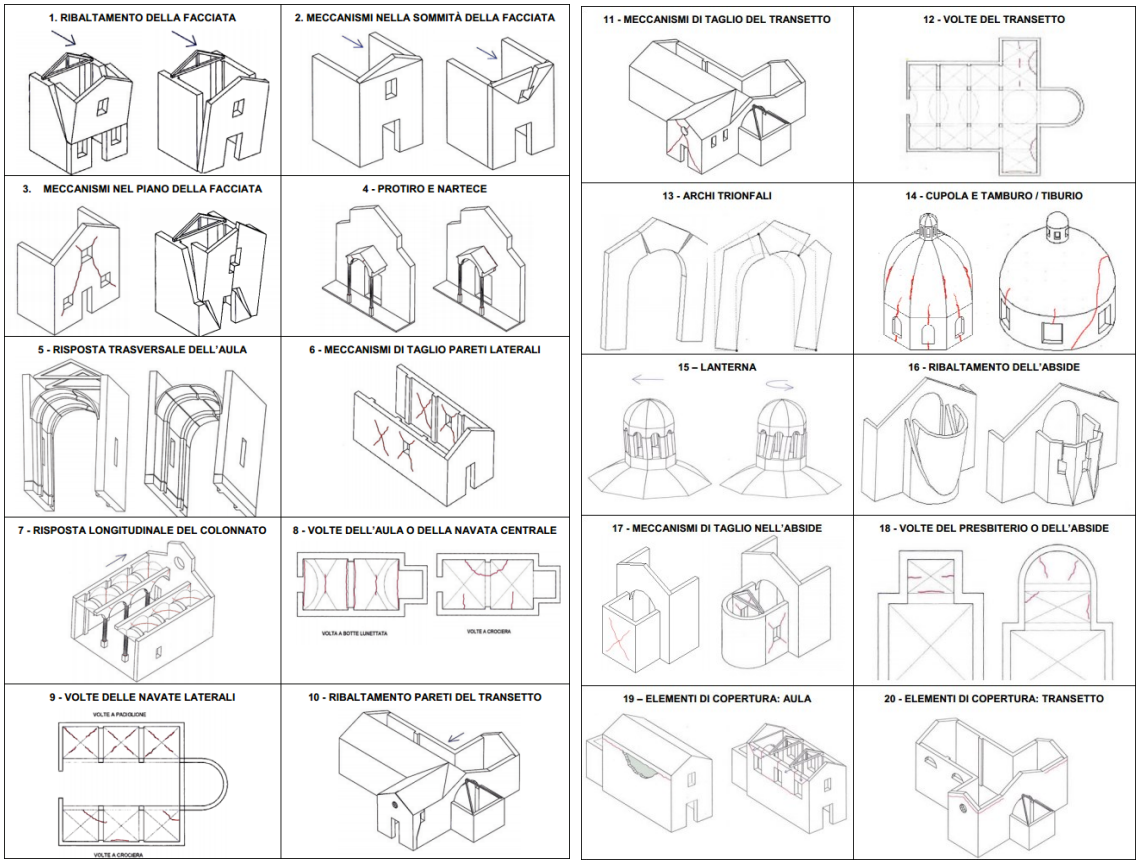
Dalla osservazione sistematica dei danni strutturali delle chiese cristiane del Friuli, dopo il terremoto del 1976 (Doglioni et al., 1994), si è dedotto che la risposta sismica può essere descritta analizzando dei macro-elementi dal comportamento pressoché autonomo e che presentano meccanismi di collasso indipendenti.

Esempi di macro-elementi sono la facciata, la torre campanaria, l'abside, il transetto e le cappelle laterali. Una tale suddivisione, unita alla standardizzazione della struttura delle chiese cristiane, ha reso l'analisi di vulnerabilità per questo tipo di struttura molto efficace.

Anche per le chiese il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha messo a punto una scheda di rilievo del danno per la valutazione di vulnerabilità sismica (Allegato 2). L'abaco riporta in questo caso 28 tipologie di danno (**Figura 118**) e, analogamente alla scheda di rilievo dei palazzi, è stata sviluppata una versione on-line riservata ad utenti selezionati [Sito 24].

La presenza di muri snelli e di grandi e pesanti elementi architettonici come volte e cupole, nonché la mancanza di elementi orizzontali intermedi rendono queste strutture estremamente più vulnerabili agli eventi sismici rispetto alle altre tipologie costruttive, anche per eventi di bassa entità.

Le chiese cristiane più grandi hanno in genere due o tre navate, un abside, una o più cappelle laterali, una torre campanaria e quasi sempre un transetto. Spesso sono posizionate in mezzo a una larga piazza e non infrequentemente di fronte alla facciata è presente una scalinata. Le chiese più piccole sono solitamente a navata unica e non sempre è presente l'abside (Lagomarsino et al., 1997; Lagomarsino, 1998a; Lagomarsino, 1998b; Lagomarsino, 2004a). Talvolta risultano evidenti i passati interventi di ristrutturazione o ampliamento da segni di discontinuità nella muratura.



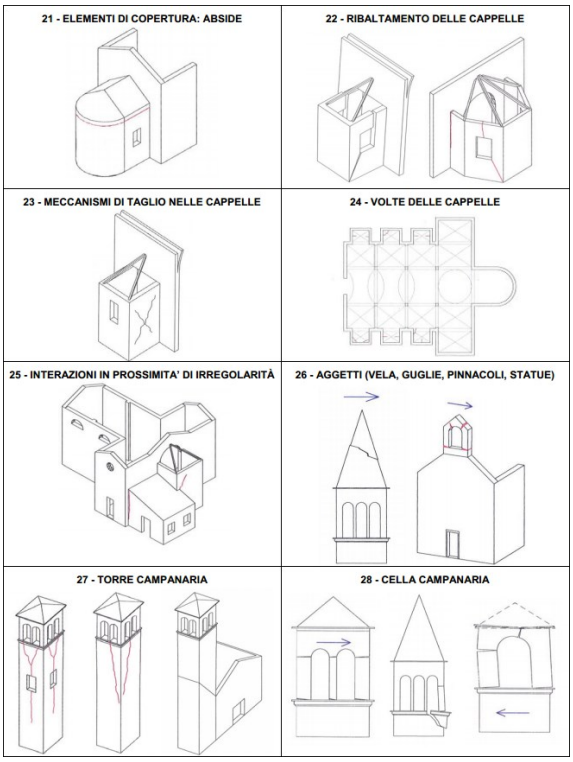


Figura 118: Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese, modello B-DC PCM-DPC MiBAC 2006

I danni più frequenti possono essere la fessurazione ed il collasso delle cupole, dovuto al loro spessore ridotto o alla mancanza di tiranti, danni ai pilastri dovuti a flessione e taglio nelle chiese a più navate, spostamento o ribaltamento delle guglie e ribaltamento fuori piano della timpano della facciata o dell'abside. Il ribaltamento del timpano è frequente nelle chiese con il tetto in legno o calcestruzzo laddove il muro non è adeguatamente connesso con il tetto. Tipicamente l'effetto di martellamento del tetto sul muro innesca il meccanismo.

Le chiese bizantine sono spesso di forma ottagonale con una cupola principale sorretta da quattro archi principali e altri quattro archi più piccoli disposti sui restanti lati dell'ottagono (**Figura 119**). In aggiunta alla cupola principale c'è un sistema di archi e cupole più piccole sorrette da pilastri. Osservazioni a seguito di eventi sismici hanno mostrato l'estrema vulnerabilità di queste strutture. In realtà la particolare conformazione architettonica genera eccessi di trazione anche durante il normale esercizio della struttura.

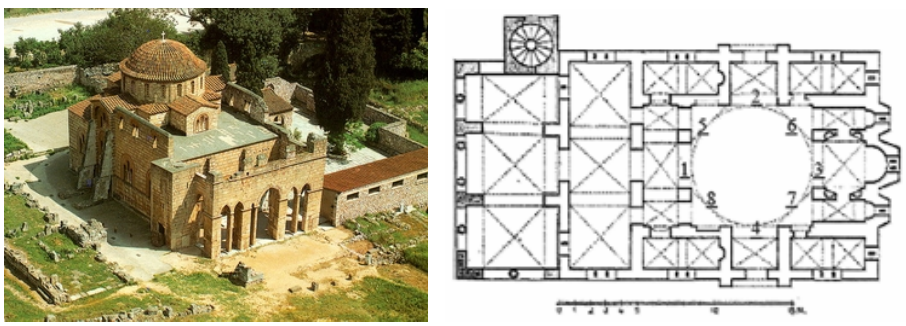


Figura 119: Monastero di Daphni (Atene – Grecia) [Sito 25]

3.2.6 Edifici snelli

Rientrano in questa categoria quegli edifici che, indipendentemente dalla loro funzione, presentano un rapporto molto elevato tra altezza e base. Tipici elementi possono essere le torri, le case torri, le torri campanarie e i minareti, sia a base rettangolare che circolare.

A seguito dei già citati rilievi sulle chiese a seguito del terremoto del Friuli sono state sviluppate numerose banche dati con l'intento di classificare tutte le possibili tipologie di torri campanarie italiane (Sepe et al., 2008).

Nel caso delle torri in genere è abbasta frequente l'interazione con gli edifici adiacenti e un elemento importante per la valutazione della vulnerabilità sismica sono senz'altro le modifiche e i cambi di destinazione d'uso subiti dall'opera nel tempo. Allo stesso modo la posizione della torre nel contesto urbano assume particolare importanza in quanto influenza significativamente i possibili danni a seguito di un'azione sismica (**Figura 120**).

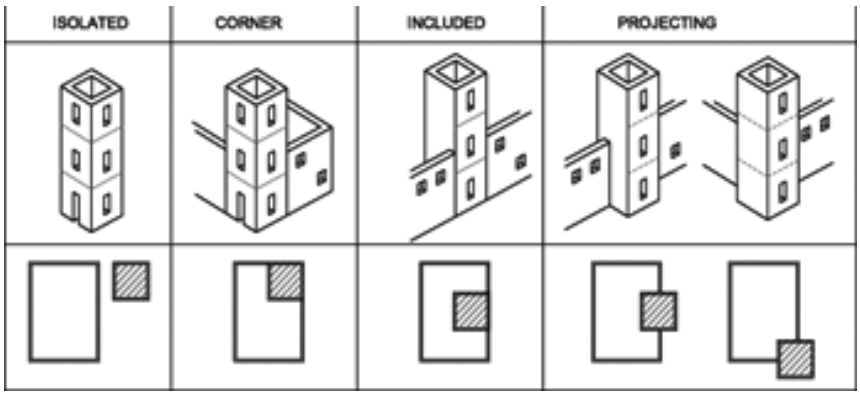


Figura 120: Possibili posizioni di una torre nel contesto urbano (Sepe et al., 2008)

La presenza di elementi decorativi non deve essere trascurata perché può rappresentare un pericolo per la popolazione, anche se non mette a repentaglio l'incolumità strutturale della torre.

In generale i muri delle torri sono estremamente spessi con piccole aperture, mentre le scale e i solai sono in legno e per questo esposti a degrado.

Tra i meccanismi mutuabili dagli edifici possiamo ricordare il ribaltamento della facciata con rottura dell'angolo e le rotture alla base per flessione e taglio. In più la snellezza della struttura si presta a subire sollecitazioni torsionali. La rottura per ribaltamento è facilitata quando nelle pareti laterali è presente una serie di aperture lungo l'altezza che riducono la sezione resistente facilitando il distacco. La **Figura 121** riassume i possibili meccanismi di collasso nelle torri mentre uno schema del meccanismo di ribaltamento della lanterna ed alcuni esempi di minareti danneggiati da eventi sismici sono riportati in **Figura 122**.

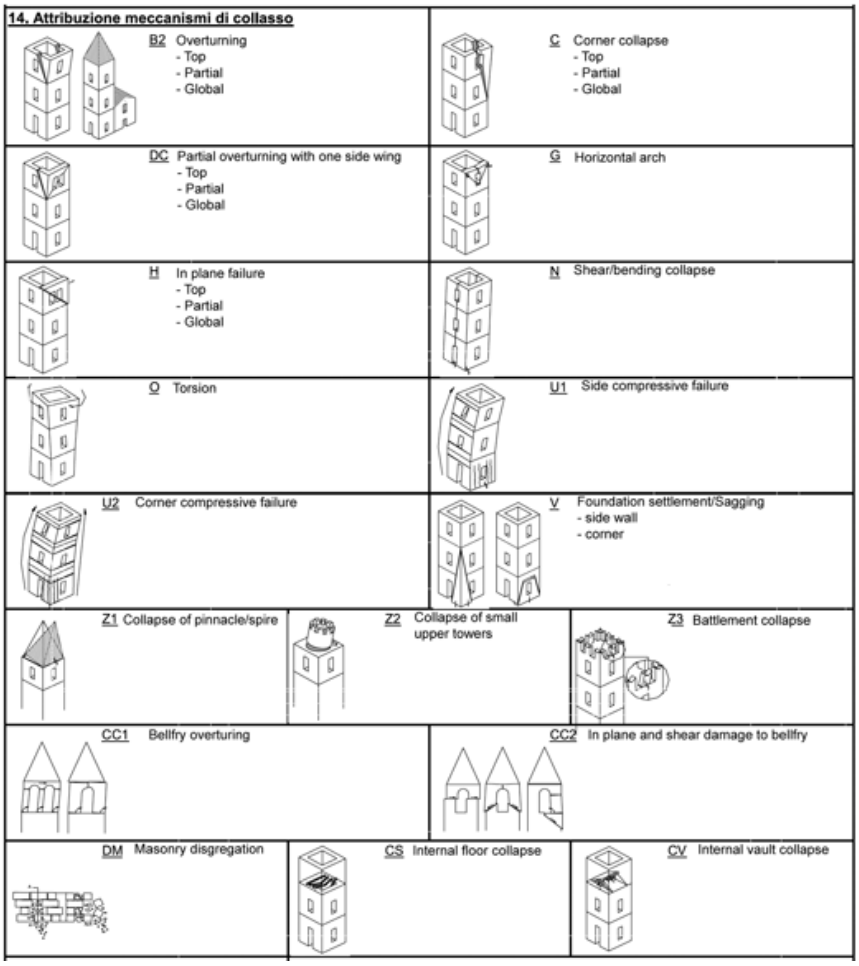


Figura 121: Possibili meccanismi di collasso delle torri (Sepe et al., 2008)

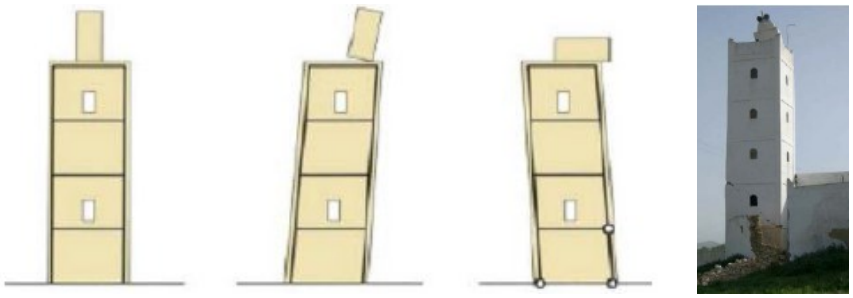


Figura 122: Rotazione e collasso della lanterna e formazione di cerniere plastiche alla base (Agadir – Marocco)

3.3 *I MECCANISMI DI COLLASSO INSERITI NEL "DATA WAREHOUSE" NIKER*

All'interno del "data warehouse", i meccanismi di collasso sono stati raggruppati in categorie per ciascun elemento costruttivo. Ciascuna categoria comprende i meccanismi simili per dinamica e parametri coinvolti. Tutti i meccanismi relativi alle rotture nel piano per i muri sono stati raccolti in un'unica categoria, lo stesso è stato fatto per i meccanismi di ribaltamento fuori piano, le rotture per flessione fuori piano, ecc.

Nella valutazione dei criteri per la suddivisione in categorie, è stata presa in considerazione anche l'omogeneità degli interventi in relazione alle categorie stesse; si è scelto dunque di accorpare meccanismi di collasso connessi a un intervento o a un medesimo gruppo di interventi.

Questa scelta agevola sia l'identificazione, da parte degli utilizzatori dello strumento, degli interventi più appropriati per la mitigazione del rischio dovuto ad una determinata categoria di meccanismi, sia il confronto tra i valori dei parametri per situazioni dal comportamento meccanico simile.

La struttura dinamica del "data warehouse" permette comunque e in ogni momento di modificare la struttura, di ridefinire le categorie o di crearne di nuove. Questo è estremamente importante, perché può permettere la definizione dei meccanismi di rottura con un livello di dettaglio anche molto elevato, nel caso si abbiano dati sufficienti che ne giustifichino la creazione. La scelta del livello di dettaglio da rappresentare è riservata ad un gruppo ristretto di persone.

La Tabella 23 riassume i meccanismi di rottura inseriti nel "data warehouse" suddivisi per elemento costruttivo.

Tabella 23: I meccanismi di rottura definiti nel "data warehouse"

CONSTRUCION ELEMENT	FAILURE MECHANISM
Wall	In-Plane Failure Out-of-Plane Overturning Out-of-Plane Flexure Layer Separation
Floor	Inadequate out-of-plane bending strength and stiffness Inadequate in-plane stiffness Slipping at supports Beam-vault separation Rusting of steel beam (at support, web and/or flange) Degradation and breakage of brick material Mortar disintegration
Roof	Inadequate bending strength and stiffness Inadequate in-plane stiffness Slipping at supports Material degradation Out-of-plane instability Joints failure
Arch / Vault	Displacement of the supports Differential settlement of the piers Longitudinal sliding Load variation
Columns	Compression Compression & Creep Buckling Crumbling and loss of symmetry Cracks and loss of monolithicity Incompatible material supplements Inadequate support
Sub-Assemblage Connections	Separation of structural elements

4 LE TECNICHE DI INTERVENTO

4.1 *CENNI STORICI*

Nell'antichità il termine restauro significava trasformare l'opera inserendo i nuovi elementi architettonici propri della diversa concezione dello stile rispetto al passato e sperimentando le nuove tecniche costruttive (Carbonara, 1996). In altre parole la prassi era quella di rifare l'opera secondo lo stile del tempo, a volte modificandone addirittura la destinazione d'uso.

Nel quattrocento si comincia a sentire la necessità di un confronto e del mantenimento della conoscenza passata: "*Si sono certo conservati esempi di opere dell'antichità, come teatri e tempi, da cui, come da insigni maestri, molto si può apprendere; e con grave sconforto ho notato che di giorno in giorno vanno in rovina*" (Burns, 1998). Lo stesso Alberti parla di riparare i guasti degli edifici, insistendo sul fatto che, prima di intraprenderne il restauro, "*bisogna considerare quali siano certamente quei difetti che si possono dalle mani degli uomini correggere*" e che solo "*ad alcuni si può riparare coll'arte e coll'ingegno, e ad alcuni altri non di può dare rimedio alcuno*" (Alberti, 1784).

Le prime discussioni sul concetto moderno di restauro risalgono alla seconda metà dell'ottocento, quasi in risposta ai lavori eseguiti mezzo secolo prima da Raffaele Stern e Giuseppe Valadier sul Colosseo e sull'Arco di Tito con il dichiarato intento che l'intervento integrativo dovesse essere distinguibile rispetto all'opera originaria.

In Inghilterra nel 1977 William Morris fonda la "Società per la Protezione degli Antichi Edifici" che, su ispirazione di John Ruskin, contribuisce alla nascita dell' "Anti-restoration Movement" e, in pochi decenni, il restauro conservativo prende il sopravvento su quello integrativo.

L'idea alla base del movimento anti-restauro è che il restauro stesso sia "la più totale distruzione che un edificio possa subire: una distruzione dalla quale nessun avanzo può essere raccolto: una distruzione accompagnata dalla falsa descrizione della cosa distrutta" (Ruskin, 1989).

Il restauro moderno si fa iniziare comunemente con l'attività di Eugène Emmanuelle Viollet-le-Duc, architetto francese che scrive: "La parola e la cosa sono moderne. Restaurare un edificio non è conservarlo, ripararlo o rifarlo, è ripristinarlo in uno stato di completezza che può non essere mai esistito in un dato tempo" (Viollet-le-Duc, 1988). In questa visione, definita "restauro stilistico" predomina la forma sulla materia.

In Italia verso la fine del XIX secolo Camillo Boito cercherà di mediare tra le visioni di Viollet-le-Duc e di Ruskin, introducendo il concetto di "restauro filologico". L'esigenza è quella di intervenire sul costruito individuando i criteri che guidano l'intervento con lo scopo di tutelarne l'autenticità. Da un lato c'è un allontanamento netto da quella che lui definisce "arbitrarietà" propria dell'architetto francese, e, dall'altro, ironizza per la sorte che i monumenti potrebbero subire a causa del non intervento di Ruskin. Boito introduce il concetto di "conservazione" affermando che "*i monumenti architettonici, quando sia dimostrata incontrastabilmente la necessità di porvi rimedio, devono piuttosto essere consolidati che restaurati, piuttosto riparati che restaurati evitando i nessi con ogni studio, le aggiunte e le innovazioni*" (Boito, 1893).

La "Prima Carta Italiana del Restauro", promossa proprio da Boito, durante il congresso degli ingegneri e architetti che si tenne a Roma nel gennaio 1883, riflette questa idea di conservazione, auspicando "la istituzione di manutenzioni regolari e permanenti atte ad assicurare la conservazione degli edifici".

Dalla fine del congresso in poi, ci fu una graduale elaborazione di principi e prescrizioni che vennero via via codificati e incorporati in una serie di documenti diretti a guidare gli interventi, tra cui (Allegato 3):

- Carta di Atene (1931)
- Carta Italiana del restauro (1932)
- Carta di Venezia (1964)
- Carta Italiana del Restauro (1972)
- Carta di Amsterdam (1975)
- Carta di Washington (1987)
- Carta di Cracovia (2000)

La Carta Italiana del Restauro del 1972 definisce i concetti di "salvaguardia", ovvero "qualsiasi provvedimento conservativo non implichi l'intervento diretto sull'opera, e "restauro", ovvero "qualsiasi intervento volto a mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere integralmente al futuro le opere e gli oggetti", mentre nella Dichiarazione di Amsterdam, prefazione della omonima carta del 1975, compare per la prima volta il termine "conservazione integrata", che mette in relazione il manufatto con il contesto socio-culturale a cui appartiene.

La Carta di Cracovia del 2000, infine, stabilisce che: "la manutenzione e riparazione sono una parte fondamentale del processo di conservazione del patrimonio. Queste operazioni devono essere organizzate tramite la ricerca sistematica, le ispezioni, il controllo, il monitoraggio e le prove". Ispezioni, controllo e monitoraggio diventano quindi elementi fondamentali del "progetto di restauro", definito come un processo di gestione globale del bene per la sua conservazione nel tempo.

Oggi, gli interventi negli edifici storici sono finalizzati a rinforzare, riparare e stabilizzare la struttura, il più delle volte in seguito ai danni subiti durante un evento sismico. Queste azioni, necessarie per conservare il bene storico, devono essere soggette a riconosciuti principi di conservazione, che devono raggiungere un compromesso con le esigenze ingegneristiche relative a garantire la stabilità della struttura. L'intervento sul patrimonio storico, infatti, è un'operazione di estrema complessità e deve seguire dei criteri specifici adeguati all'importanza del bene in oggetto (Carbonara, 1997; Manieri Elia, 2010), descritti nel paragrafo seguente.

4.2 *I CRITERI GENERALI DEL PROGETTO DI RESTAURO*

4.2.1 Minimo intervento (invasività)

Tra tutte le soluzioni che garantiscono il medesimo grado di sicurezza deve essere scelta quella ad impatto minimo, ovvero che altera la struttura originaria il meno possibile. Da un punto di vista ingegneristico, la ricerca di una soluzione ottimale richiede una comparazione tra possibili eventi e possibili interventi valutati bilanciando l'efficienza strutturale con i criteri di conservazione. La soluzione da adottare sarà dunque il minimo intervento che bilancia i requisiti di sicurezza con la salvaguardia del bene storico assicurando il minor grado di danno possibile. Al tempo stesso deve essere valutato attentamente il grado di impatto dell'intervento sull'edificio o sul monumento in termini di alterazione sia dei materiali originari, sia delle peculiarità strutturali (Modena et al. 2012a).

In quest'ottica, diventa fondamentale la conoscenza fisica, strutturale e tecnologica del manufatto. Un profondo livello di indagine potrebbe ridurre notevolmente gli interventi necessari e, in taluni casi, potrebbe portare alla conclusione che gli interventi stessi non siano necessari (Manieri Elia, 2010).

Tra tutte le soluzioni possibili, poi, va data priorità a quelle meno invasive. Le raccomandazioni ICOMOS/ISCARSAH (International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) richiamano l'attenzione sul fatto che la scelta tra tecniche tradizionali e innovative deve essere valutata caso per caso, attribuendo la preferenza a quelle meno invasive e più compatibili con il bene storico, compatibilmente con la necessità di garantire sicurezza e durabilità (ICOMOS, 2003).

4.2.2 Durabilità

Dal momento che un intervento di restauro strutturale ha come finalità l'allungamento della vita utile del bene, è necessario che lo stesso intervento sia durevole.

Partendo dal presupposto che i materiali con cui è costruito un bene storico hanno dimostrato di resistere nei secoli, si richiede ad un nuovo intervento di garantire una vita utile dello stesso ordine di grandezza, oppure di poter essere sostituiti nel tempo senza alterare la struttura originaria (Manieri Elia, 2010). Se un nuovo materiale degrada, infatti, può compromettere in modo serio l'intera struttura rendendo di fatto inutile l'intervento. Molta attenzione dovrà porsi dunque nella scelta dei materiali, evitando quelli, seppur innovativi ed efficaci, con grado di deperibilità poco certo.

4.2.3 Reversibilità

Il concetto di reversibilità di un intervento è stato approfondito da Brandi, che, tenendo conto che lo scopo del restauro è di conservare e non di rinnovare un monumento storico, formulò tre principi (Brandi, 1963):

- l'integrazione dovrà essere sempre e facilmente riconoscibile ad un controllo ravvicinato, anche se a distanza non dovrà disturbare l'unità che si è inteso ristabilire;
- la materia di cui risulta l'immagine è insostituibile solo dove costituisca l'aspetto e non la struttura;
- i restauri non devono impedire interventi futuri per la conservazione dell'opera d'arte, ma piuttosto facilitarli.

Dove possibile, dunque, ogni misura adottata deve essere reversibile, intesa come rimuovibile, così da poter essere sostituita in caso l'evoluzione porti a soluzioni migliori; in ogni caso l'intervento non deve compromettere la possibilità di ulteriori interventi futuri (Feilden 1982). In altre parole deve essere possibile annullare le modifiche introdotte da un intervento senza che per questo la struttura subisca danni strutturali o deterioramenti significativi.

È evidente oggi che il criterio di totale reversibilità è difficilmente applicabile, preferendo considerare la riparabilità o la possibilità di rimozione e sostituzione con una soluzione più adeguata.

4.2.4 Compatibilità

Le raccomandazioni ICOMOS/ISCARSAH citano testualmente che "*Le caratteristiche dei materiali utilizzati nel restauro (ed in particolare i nuovi materiali), nonché la compatibilità con i materiali già in opera, devono essere attentamente valutate anche in relazione ai comportamenti nel tempo (per prevenire, ad esempio, il rischio di reazioni chimiche con effetti negativi)*" (ICOMOS, 2003). In ogni caso deve essere chiaro che la compatibilità è una condizione necessaria ma non sufficiente per accettare un prodotto dal momento che i benefici che esso porta devono ancora essere dimostrati. Questo deve includere gli effetti a lungo termine in modo da evitare effetti collaterali indesiderati e garantire in tal modo la durabilità.

I materiali e le soluzioni tecniche adottate per riparazione o rinforzo devono quindi essere compatibili con quelli originali, nel senso che non devono comparire effetti collaterali indesiderati dalla loro combinazione, sia da un punto di vista fisico che meccanico. I materiali antichi non devono subire alcuna alterazione chimica quando entrano in contatto con quelli più moderni, garantendo anche la compatibilità chimica; ad esempio i cementi Portland potrebbero rilasciare sali solubili che penetrano nelle malte di calce e nella pietra causando fratture espandendosi durante la cristallizzazione (Tedeschi, 2004). I gradi di deformazione e la rigidezza devono essere comparabili; un elemento troppo rigido, ad esempio, rischia di rompere il materiale originale per un eccesso di carico.

4.2.5 Conservazione dell'autenticità

I monumenti non rappresentano oggetti dal mero valore artistico o architettonico, ma sono interessanti anche come testimonianza delle tecniche costruttive del passato. Rappresentano la storia e dunque qualsiasi intervento dovrebbe mantenere l'attenzione sul preservare le peculiarità originarie della struttura, sia in relazione ai materiali che alla geometrie e alle soluzioni statiche che la caratterizzano.

Il materiale può essere inteso secondo una funzione strutturale oppure estetica. La priorità verrà assegnata all'espetto valutato artisticamente più importante (Brandi, 1963).

Ogni manufatto storico possiede anche una sua unicità legata al contesto socio-culturale in cui è inserito e che contribuisce a definirne l'identità (Manieri Elia, 2010); conoscere questo aspetto permette di contestualizzare l'intervento valorizzando ulteriormente gli aspetti artistici dell'opera.

Rientra nel criterio di autenticità anche il concetto di distinguibilità. Già nella Carta del Restauro di Venezia del 1964 veniva stabilito che: "*Gli elementi destinati a sostituire le parti mancanti devono integrarsi armoniosamente nell'insieme, distinguendosi tuttavia dalle parti originali, affinché il restauro non falsifichi il monumento, e risultino rispettate, sia l'istanza estetica che quella storica*." In ogni nuova installazione strutturale deve quindi essere garantita la non alterazione dell'aspetto iniziale del bene.

Questo criterio è fondamentale, nel senso che può essere considerato l'obiettivo principale di un intervento a cui gli altri devono sempre fare riferimento.

4.2.6 Attualità espressiva

Per "attualità espressiva" si intende l'apertura all'impiego di materiali e soluzioni moderne, che lascino un segno dei tempi in cui un intervento è realizzato. È una questione complessa, che riguarda sia il rapporto artistico tra il vecchio e il nuovo. Se da un lato è richiesto il mantenimento di un'analogia stilistica con il passato, d'altra parte è a volte necessario l'adeguamento tecnologico del bene. La scelta dell'intervento coinvolge così aspetti legati a sensibilità artistica, abilità tecnica, rispetto, capacità di visione ed espressione poetica per riuscire trovare una sintesi tra passato, presente e futuro (De Vita, 2012).

Le addizioni necessarie più frequenti sono quelle impiantistiche legati ai nuovi usi e alle nuove normative. Ragioni specifiche d'uso possono richiedere anche altre specifiche addizioni (coibentazioni, infissi, dispositivi per il superamento delle barriere architettoniche, ecc.).

Le addizioni diventano necessarie anche nel caso di danni provocati da un evento sismico. In questo caso la necessità di ripristinare la funzionalità del manufatto impone scelte a volte molto delicate e la valutazione degli interventi dovrà essere accuratamente valutata caso per caso; lo stesso vale per qualunque altro evento catastrofico.

Molti edifici e monumenti storici sono oggi impiegati per scopi pubblici, come musei, biblioteche, scuole, uffici governativi. L'accesso del pubblico è poi parte integrante della finalità di edifici religiosi e monumenti. Ecco dunque che l'esigenza di garantire l'incolumità delle persone pone un vincolo molto stretto su qualsiasi intervento di consolidamento strutturale delle strutture con valore storico. Talvolta questa esigenza può spingere verso interventi molto pesanti, che non sempre garantiscono comunque l'effetto voluto. Al tempo stesso devono essere minimizzate le cosiddette perdite culturali, ovvero la perdita di opere artistiche e storiche all'interno di edifici e monumenti.

In quest'ottica, l'adeguamento sismico delle costruzioni storiche deve essere quindi valutato con estrema attenzione per trovare il giusto compromesso tra costi e benefici.

4.2.7 Affidabilità

I metodi di verifica strutturale previsti dalle normative vigenti sono processi del tutto convenzionali pensati per le nuove costruzioni con lo scopo di definire probabilisticamente un livello di rischio accettabile in relazione alla destinazione d'uso del manufatto. Tale definizione è resa ancor più complicata dall'arbitrarietà nella valutazione dei parametri e dalla possibilità di errore umano.

Trasferire questi processi di verifica alle costruzioni storiche è estremamente complicato, considerando anche l'inadeguatezza delle metodologie di calcolo oggi disponibili, incapaci di rappresentare il comportamento dinamico delle strutture storiche in campo non lineare (Modena et al., 2012a).

Alla "verifica" si sostituisce dunque il concetto di "valutazione", inteso come "un giudizio positivo sul rapporto tra la sicurezza sismica raggiunta […] ed il livello di protezione di riferimento" (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Circolare n. 26/2010).

Qualunque intervento su un manufatto storico induce cambiamenti nei meccanismi resistenti nella risposta sismica la cui valutazione e previsione sono estremamente complesse. L'interazione meccanica fra antico e moderno trasferisce la sollecitazione all'anello più debole, solitamente costituito da un meccanismo resistente originario. Per superare tale limite sarebbe necessario realizzare "sistemi strutturali in grado di assorbire da soli tutte le azioni applicate alla struttura e di garantire la compatibilità delle deformazioni sotto l'effetto di tali azioni di due sistemi strutturali, quello esistente e quello aggiunto" (Modena et al., 2012a). Questa soluzione, complessa e delicata sul piano realizzativo, è spesso difficilmente in sintonia con il criterio di compatibilità, ma potrebbe rappresentare l'unica possibilità di prevenire danni sismici seri.

4.2.8 Monitoraggio e controllo degli interventi

Se la conoscenza degli aspetti storico-artistici e delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche è un elemento fondamentale per definire il livello massimo accettabile di "valorizzazione" (Modena et al., 2012b), garantendo così una connessione tra passato e presente, il monitoraggio e il controllo degli interventi rappresenta una strategia sia per ridurre al minimo gli interventi, sia per assicurare il corretto grado di manutenzione e di conservazione, estendendo la connessione anche tra presente e futuro. Buoni livelli di manutenzione e controllo continuativi nel tempo, infatti, contribuiscono ad evitare che si creino le condizioni per interventi futuri di entità non trascurabile.

Non dovrebbero essere intraprese iniziative la cui efficacia e i cui effetti sulla struttura siano impossibili da controllare. Deve essere effettuato il controllo prima, durante e dopo l'intervento, che deve essere progettato per garantire la possibilità di monitoraggio, e ogni proposta di intervento deve essere accompagnata da un adeguato programma di monitoraggio.

Nel caso di opere provvisionali o in situazioni di emergenza il monitoraggio assume estrema importanza per garantire se effettivamente l'intervento stia o meno contribuendo alla mitigazione delle sollecitazioni sulla struttura originaria. Questo sarà poi di grande aiuto nel pianificare un eventuale intervento definitivo.

4.3 *GLI INTERVENTI SUGGERITI NELLE LINEE GUIDA 2008*

Come è già stato sottolineato nel paragrafo 4.2.4, i materiali usati in un intervento di restauro strutturale devono rispettare i requisiti di compatibilità con i materiali originari. Per ovviare il problema a monte, si può fare ricorso a materiali e tecniche tradizionali. In questo caso sono garantite sia la compatibilità che la durabilità, dal momento che l'esperienza garantisce una conoscenza secolare.

Tecnologie e materiali moderni possono essere usati nel restauro e nel consolidamento strutturale, con l'accortezza che sia fornita una solida base scientifica di ricerca e sperimentazione sulla loro efficacia, durabilità e compatibilità con i materiali originari. Molti materiali moderni presentano problemi documentati di compatibilità non trascurabili con i materiali storici, come ad esempio i cementi Portland e le resine epossidiche se usate nelle le murature storiche in mattoni o pietra. In molti altri casi non ci sono effetti collaterali documentati, ma occorre comunque tenere presente che possono esistere delle controindicazioni a lungo termine di cui non si è a conoscenza.

Gli interventi possibili per ciascuna forma di vulnerabilità sono molteplici e la scelta della soluzione ottimale è compito primario del progetto.

Le Norme Tecniche del 2008 (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 2010) individuano e suggeriscono alcune tipologie di intervento, di cui si riporta una breve descrizione nei paragrafi che seguono, senza precludere comunque la possibilità di soluzioni di diversa natura, sempre nel rispettato dei criteri previsti per la conservazione del patrimonio storico.

4.3.1 Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti

Tali interventi mirano a garantire la collaborazione tra gli elementi strutturali e il comportamento scatolare dell'edificio mediante la realizzazione di efficaci collegamenti dei solai alle pareti e l'eliminazione delle spinte non contrastate di volte o tetti; la loro realizzazione è un richiesta per l'applicazione dei metodi di analisi sismica globale.

Un tipo intervento che può favorire il comportamento d'assieme del fabbricato è l'inserimento di tiranti, disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti. Questi elementi, metallici o di altri materiali, sono ancorati alle murature mediante un capochiave a paletto o a piastra. La **Figura 123** illustra alcuni schemi di inserimento di tiranti e alcuni particolari dei capichiave su opere esistenti.

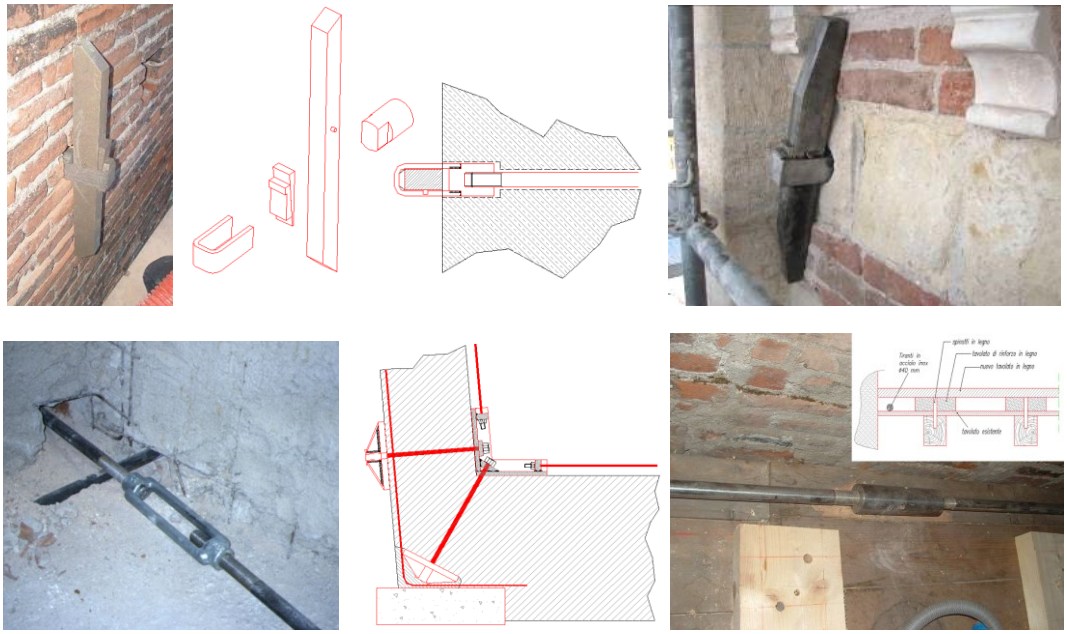


Figura 123: Schemi di inserimento di tiranti e particolari dei capichiave (Modena, et al., 2009a; Modena, et al., 2009b, Valluzzi et al., 2006)

La scelta del tipo di capochiave e il suo dimensionamento devono tener conto della tipologia della muratura, valutando con cura lo stato tensionale e preferendo i bolzoni alle piastre in caso di murature scadenti. In ogni caso, il rispetto del criterio di reversibilità richiede di evitare l'uso di ancoraggi per aderenza.

Per il collegamento delle murature ortogonali possono essere usate le cerchiature esterne, avendo cura di evitare concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli. Le cerchiature sono realizzate con elementi metallici o materiali compositi. Le norme richiedono un uso limitato delle perforazioni armate sia per l'invasività che la loro dubbia efficacia. La **Figura 124** illustra cerchiature in barre rigide e mediante l'uso di cavi in acciaio.

Figura 124: Schema ed esempi di cerchiature (Borri et al, 1999b; Modena et al., 2009b)

Per collegare tra loro le pareti può essere previsto l'inserimento di cordoli in sommità, con il vantaggio di migliorare anche l'interazione con la copertura. cordoli possono essere realizzati in calcestruzzo armato, in muratura armata o in acciaio.

L'uso del calcestruzzo armato è limitato ad opere di piccolo spessore, sia per limitare il sovraccarico che per evitare eccessivi irrigidimenti. Per limitare comunque eccessive differenze di rigidezza, si consiglia di accompagnare la realizzazione di questo tipo di cordolo ad un consolidamento della muratura.

Il cordolo in muratura armata è la soluzione che più si avvicina alla conservazione delle caratteristiche della muratura esistente ed è solitamente da realizzare con mattoni pieni rinforzate da un'armatura metallica, senza impiego di particolari dispositivi di ancoraggio con la muratura esistente.

L'acciaio rappresenta comunque una valida alternativa per la sua leggerezza e limitata invasività ed è particolarmente indicato per il collegamento degli elementi lignei della copertura.

Figura 125: Esempi di cordoli sommitali (Modena et al., 2009b)

La connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature, infine, contribuisce sia all'azione di contenimento delle azioni orizzontali che al contenimento delle pareti, evitando sia lo sfilamento delle travi che pericolosi fenomeni di martellamento sulle pareti. Le connessioni dei solai lignei dovrebbe di norma essere realizzata con ancoraggi metallici, mentre sono da evitare i cordoli di interpiano sia per problemi di incompatibilità con i criteri della conservazione, che per ripercussioni negative sul comportamento meccanico delle murature. Schemi ed esempi di ancoraggio dei solai ai muri sono riportati in **Figura 126**.

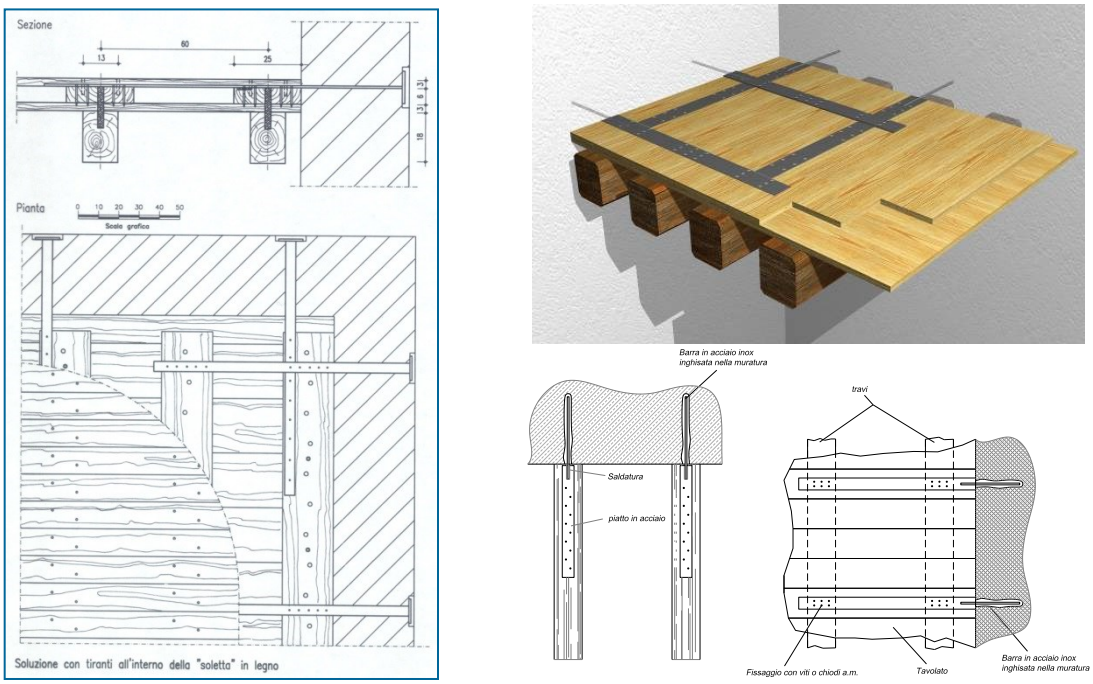


Figura 126: Schemi ed esempi di ancoraggio dei solai ai muri (Valluzzi et al., 2006)

4.3.2 Interventi volti a ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento

Una soluzione proposta per il consolidamento delle volte è il ricorso a tecniche di placcaggio all'estradosso con fasce di materiale composito FRP. Per essere efficace, questo intervento deve essere accompagnato dalla realizzazione di un sottarco in grado di evitare le spinte a vuoto, realizzato in muratura o in materiale ligneo. Le norme raccomandano di evitare la realizzazione di controvolte in calcestruzzo per l'aumento delle masse sismiche e per la violazione del criterio di compatibilità. La realizzazione dei placcaggi, sicuramente efficace nel breve periodo anche se limitatamente reversibile, presenta ancora aspetti poco noti in relazione alla durabilità. La **Figura 127** illustra un esempio in opera di questo tipo di intervento, con particolare sia dell'estradosso che dell'intradosso, e prove di laboratorio per la valutazione del comportamento in esercizio dei rinforzi (Valluzzi et al., 2001).

Figura 127: Rinforzo tramite placcaggio all'estradosso di volte in muratura con fasce di materiale composito FRP in situ e in laboratorio (Valluzzi, 2008; Valluzzi et al., 2001)

Per il consolidamento delle strutture ad arco e a volta le norme consigliano il ricorso alla tecnica tradizionale delle catene, che vanno poste in opera con un'adeguata pre-sollecitazione preferibilmente in corrispondenza delle reni (**Figura 127**).

Figura 128: Catene di consolidamento in archi e volte [Sito 32]

Infine, per assorbire le spinte di archi e volte si può ricorrere a contrafforti o ringrossi murari costruiti all'estradosso. Opere dall'impatto visivo non trascurabile, sono efficaci se è garantito un buon grado di ammorsamento con la parete esistente, da realizzarsi con elementi in pietra o laterizio (**Figura 129**).

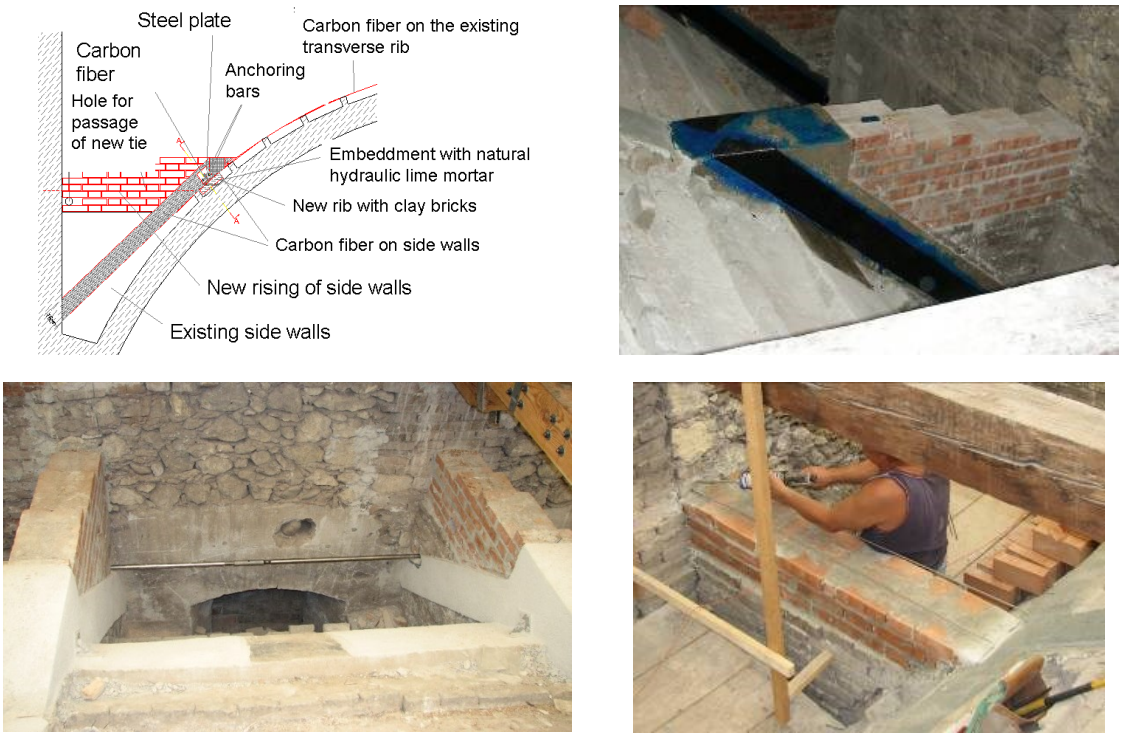


Figura 129: Contrafforti a sostegno di volte (Modena et al., 2009b)

4.3.3 Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento

Per poter trasferire e ripartire le azioni orizzontali e, al tempo stesso, costituire un vincolo per le pareti, è possibile intervenire sulla rigidezza dei solai. Se un limitato irrigidimento risulta utile per assolvere alle funzioni richieste, l'alterazione della rigidezza provoca comunque una diversa distribuzione delle sollecitazioni sulle pareti, che può risultare favorevole o sfavorevole in funzione della geometria della struttura. Un eccessivo irrigidimento, infatti, può portare ad una concentrazione delle tensioni sugli elementi più rigidi e all'insorgenza di sollecitazioni torsionali in caso di irregolarità planimetriche.

Quando sia richiesta una maggiore resistenza flessionale e una maggiore rigidezza nel piano, i solai lignei possono essere rinforzati fissando un secondo tavolato all'estradosso. L'utilizzo della tecnica "sololegno", estremamente rigorosa nel rispetto dei criteri di compatibilità, durabilità e reversibilità, prevede il fissaggio del secondo tavolato mediante spinotti in legno, con operazioni eseguite completamente a secco (**Figura 130**). In altri casi, il fissaggio del secondo tavolato può avvenire comunque anche con chiodi o viti.

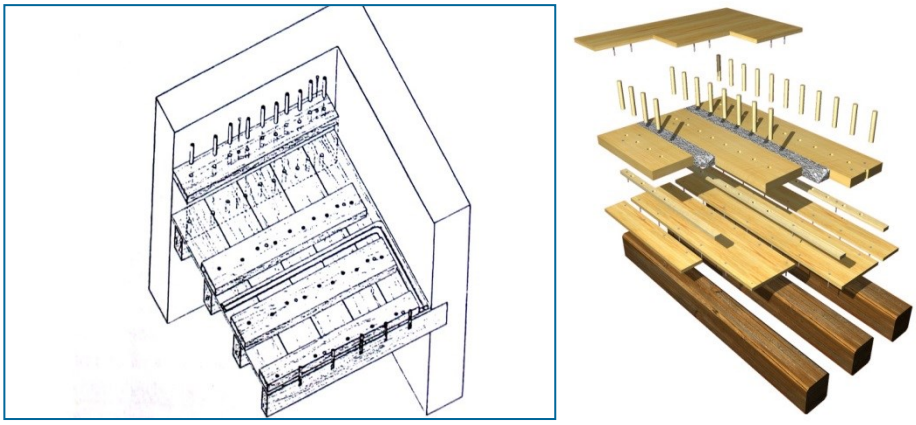


Figura 130: Schema esecutivo della tecnica “sololegno” (Valluzzi et al., 2006; Modena et al. 2008)

Un’altra tecnica prevista è quella di usare rinforzi con bandelle metalliche, o di materiali compositi, fissate al tavolato con andamento incrociato (**Figura 131**).

Figura 131: Irrigidimento di solai con bande incrociate in materiali compositi (Modena et al., 2009b)

L’irrigidimento può essere ottenuto anche con una soletta collaborante in calcestruzzo, valutando i benefici in relazione alle esigenze di conservazione. Per i solai a struttura metallica con elementi in laterizio può essere necessario collegare trasversalmente le travi saldando bandelle metalliche indifferentemente all’estradosso o all’intradosso.

4.3.4 Interventi in copertura

Le norme suggeriscono il mantenimento delle coperture lignee per limitare le masse sismiche in sommità e garantire un grado di elasticità simile a quello della muratura. Per questo motivo devono essere evitati eventuali cordoli in calcestruzzo armato.

Gli interventi devono essere mirati a migliorare le connessioni tra la muratura e la struttura del tetto e il buon collegamento dei nodi delle eventuali capriate. Le connessioni tra copertura e muratura possono essere realizzati con un cordolo-tirante in legno o metallo, che garantisca da un lato la protezione della parte sommitale della muratura, e dall’altro un elemento utile alla ripartizione dei carichi trasmessi dalla copertura. I miglioramenti del grado di connessione nei nodi delle capriate è invece ottenuto con l’ausilio di elementi metallici (**Figura 132**).

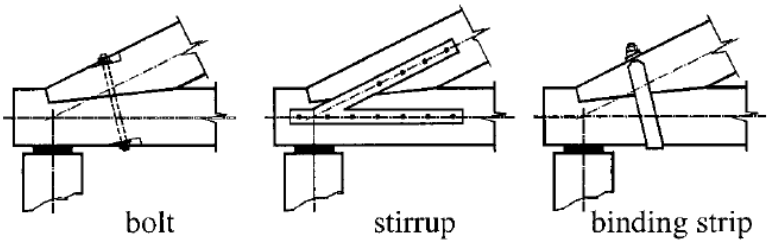


Figura 132: Differenti tipologie di rinforzo del nodo catena-puntone di una capriata (Parisi et al., 2000)

Interventi di irrigidimento delle falde, quando necessari, possono essere realizzati con tavolati sovrapposti incrociati (**Figura 133**a), con opportuni collegamenti ai bordi della muratura, o tramite controventi posti all'intradosso (**Figura 134**).

a)

b)

Figura 133: a) Controventamento con tavolato e nastro forato all'estradosso della copertura; b) Consolidamento degli appoggi e delle capriate mediante cavi esterni post tesati, con inserimento di un nuovo puntello ligneo di contrasto della falda (Jurina, 2004)

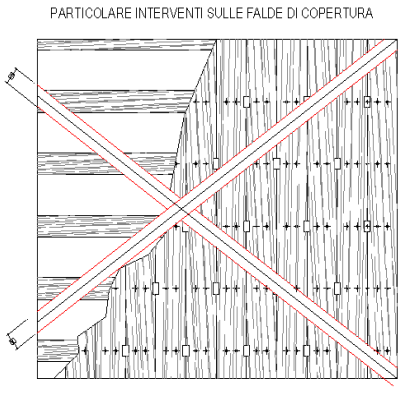


Figura 134: Schema ed esempio di controventi metallici all'intradosso della copertura (Modena et al., 2009b)

4.3.5 Interventi volti ad incrementare la resistenza degli elementi murari

Secondo la normativa, “questi interventi sono mirati sia al risanamento ed alla riparazione di murature deteriorate e danneggiate, sia al miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura” e la loro realizzazione deve essere subordinata ad una valutazione di compatibilità fisico-chimica e meccanica; per questa ragione l’utilizzo di elementi in conglomerato cementizio è sconsigliato.

In generale, con lo scopo di restituire alla muratura resistenza e rigidezza uniformi, sono previste tre tipologie di interventi:

- *riparazioni localizzate di parti lesionate o degradate;*
- *ricostituzione della compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura (scarichi e canne fumarie, ecc.);*
- *miglioramento delle caratteristiche di murature particolarmente scadenti per tipo di apparecchiatura e/o di composto legante.*

In particolare, gli interventi consigliati sono nove:

- scuci-cuci
- iniezioni di miscele
- ristilatura dei giunti
- inserimento diatoni
- tirantini antiespulsivi
- tirantature diffuse
- tiranti verticali post-tesi
- intonaci armati
- placcaggi con FRP

L’interventi denominato scuci-cuci consiste nella rimozione e sostituzione di porzioni di muratura gravemente deteriorate con elementi nuovi con le medesime caratteristiche meccaniche dei precedenti. Lo smontaggio e la successiva ricostruzione contribuiscono a preservare l’efficienza meccanica nonché l’esatta geometria della muratura originaria.

Figura 135: Esempi di interventi “scuci-cuci” (Modena et al., 2002)

Per migliorare il livello di continuità e le caratteristiche meccaniche della muratura è possibile iniettare una miscela fluida o un altro materiale con proprietà di legante nelle fessure o in fori eseguiti appositamente con lo scopo di riempire i vuoti esistenti. Occorre essere certi della compatibilità e degli effetti del materiale iniettato con il materiale costituente la muratura; l'uso di miscele a base cementizia è fortemente sconsigliato per la produzione di Sali che possono danneggiare la muratura e le sue eventuali decorazioni (**Figura 136**).

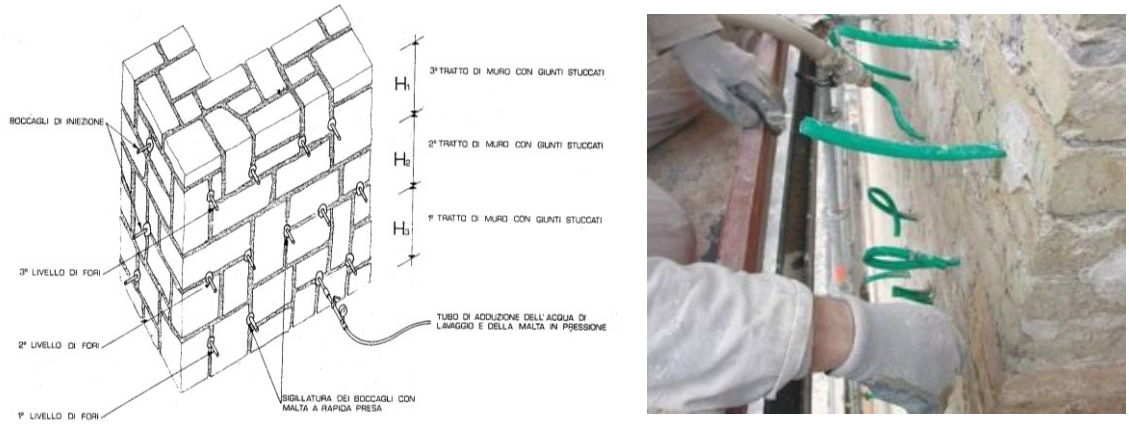


Figura 136: Schema ed esecuzione di iniezioni (Caleca et al., 1999; Modena 2009a)

La ristilatura consiste nella parziale, ma profonda, rimozione della malta ammalorata nei giunti e sostituzione con nuova malta, possibilmente con caratteristiche meccaniche e di durabilità migliori. La separazione dei blocchi non costituisce danno grave nel momento in cui la nuova malta è messa in opera, ma occorre fare molta attenzione a non rovinare tracce storiche significative (**Figura 137**).

Generalmente il riempimento di fessure con nuova malta in caso di smottamenti del terreno era una prassi consolidata in ogni epoca passata e se eseguita correttamente garantisce il ripristino delle caratteristiche meccaniche e la continuità del materiale.

Figura 137: Esecuzione di ristilatura su pannelli pilota (Valluzzi et al., 2004)

Recentemente questa tecnica è stata integrata con l'inclusione nei giunti di barre rinforzate in materiale duttile e durevole, solitamente metallo o FRP, introducendo il concetto di ristilatura armata (**Figura 138**). La ristilatura armata incrementa la resistenza a compressione e a taglio nelle murature a piccolo spessore ed è efficace nel limitare le deformazioni e aumentare la compattezza riuscendo nel contempo a fornire anche maggiore duttilità; è indicata, per sua natura, nelle murature a corsi orizzontali regolari ed è utilizzata in combinazione con altri interventi (Valluzzi et al., 2001; Valluzzi et al., 2005; Valluzzi, 2008).

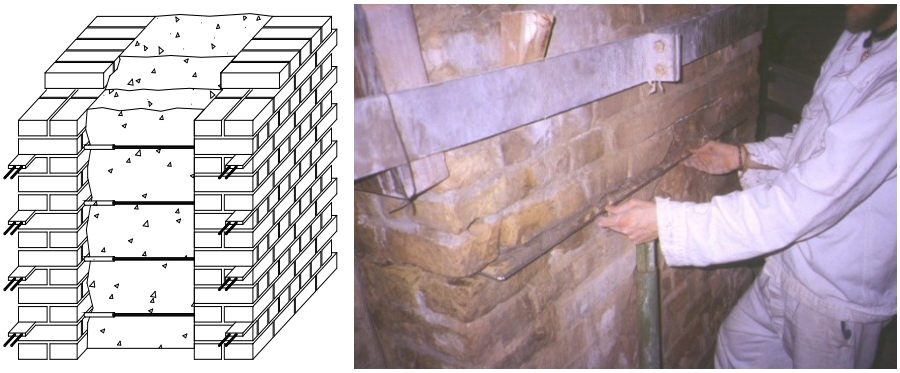


Figura 138: Schema ed esecuzione di ristilatura armata in situ (Valluzzi et al., 2005, Modena et al., 2001)

L'inserimento di diatoni artificiali è considerato un intervento a carattere invasivo e va utilizzato solo se strettamente necessario. Consiste nell'inserimento di elementi di collegamento in calcestruzzo armato trasversalmente per collegare tra loro i paramenti di una muratura.

In alternativa, per porzioni limitate di muratura, si può ricorrere ai tirantini antiespulsivi, costituiti da sottili barre trasversali imbullonate con rondelle sui paramenti. Quest'ultima soluzione è l'ideale nel casi in cui sia già presente un distacco dei paramenti e può essere applicata nel caso di murature a tessitura regolare (**Figura 139**).

Figura 139: Installazione di un tirantino antiespulsivo (Modena et al., 2009b)

Per incrementare la monoliticità si ricorre all'uso di tirantature diffuse, tecnica altrimenti denominata "ingabbiatura della muratura". Si tratta comunque di un intervento invasivo ed il suo uso deve essere limitato alle situazioni di reale necessità.

Le tirantature verticali post-tese rappresentano una ulteriore tecnica di consolidamento per restituire monoliticità alla parete muraria. Occorre valutare attentamente la capacità della muratura di supportare l'incremento di carico verticale e bisogna tenere conto che parte della tensione iniziale sarà comunque persa per gli assestamenti differiti della muratura stessa. Tale intervento modifica sensibilmente l'originario comportamento strutturale della muratura per cui deve essere considerato solo in assenza di alternative.

Il placcaggio con intonaco armato (**Figura 140**) è efficace solo se realizzato su entrambi i paramenti garantendo il collegamento tra le placche. Si tratta di un intervento fortemente invasivo e non coerente coi principi di conservazione che può essere preso in considerazione solo per il consolidamento dei maschi murari, anche se una più valida alternativa è la ricostruzione completa dell'elemento.

Un ulteriore elemento sfavorevole è costituito dall'elevata rigidezza a taglio, che altera la risposta dell'intero manufatto in caso di eventi sismici.

Figura 140: Applicazioni di intonaci armati (Binda et al., 2007)

Il placcaggio può essere realizzato anche con tessuti o lamine in materiale fibrorinforzato. Valutata la compatibilità dei materiali, questo tipo di intervento è indicato per interventi localizzati o mirati ad assorbire la spinta di elementi della copertura.

4.3.6 Pilastri e colonne

La normativa limita a tre le tipologie di intervento adatte a pilastri e colonne:

- *ricostituire la resistenza iniziale a sforzo normale, ove perduta, mediante provvedimenti quali cerchiature e tassellature; in alcuni casi può essere accettabile il ricorso ad incollaggi con resine;* (***Figura 141***)
- *eliminare o comunque contenere le spinte orizzontali mediante provvedimenti, quali l'inserimento di catene in presenza di archi, volte e coperture o, ove opportuno, la realizzazione od il rafforzamento di contrafforti;*
- *ricostituire o realizzare collegamenti di idonea rigidezza, al fine di trasferire le azioni orizzontali ad elementi murari di maggiore rigidezza.*

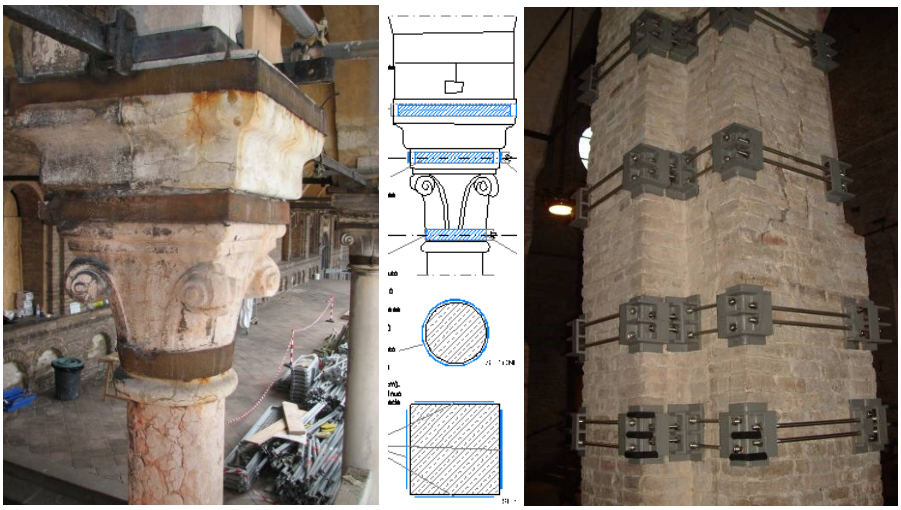


Figura 141: Consolidamento di pilastri (Valluzzi et al., 2006)

4.3.7 Interventi su elementi non strutturali

La valutazione della vulnerabilità sismica degli elementi non strutturali è legata all'interazione tra elemento e struttura e coinvolge la possibile amplificazione delle accelerazioni alle diverse quote dell'edificio. Gli interventi possibili sono mirati al miglioramento della connessione tra elemento ed edificio.

4.4 *IL CATALOGO DELLE TECNICHE DI INTERVENTO NEL "DATA WAREHOUSE"*

La finalità ultima del sistema informatico è quella di fornire uno strumento utile sia alla ricerca che alla progettazione, pertanto la completezza delle informazioni e l'uniformità della loro presentazione diventa un requisito imprescindibile. In generale, la documentazione disponibile in letteratura relativa a ciascun intervento è estremamente varia, come varie possono essere le fonti. Si è reso così necessario schematizzare e uniformare le informazioni esistenti mediante la creazione di una apposita scheda, che è stata usata nel "data warehouse" come strumento di catalogazione e il cui schema è riportato in **Figura 142**.

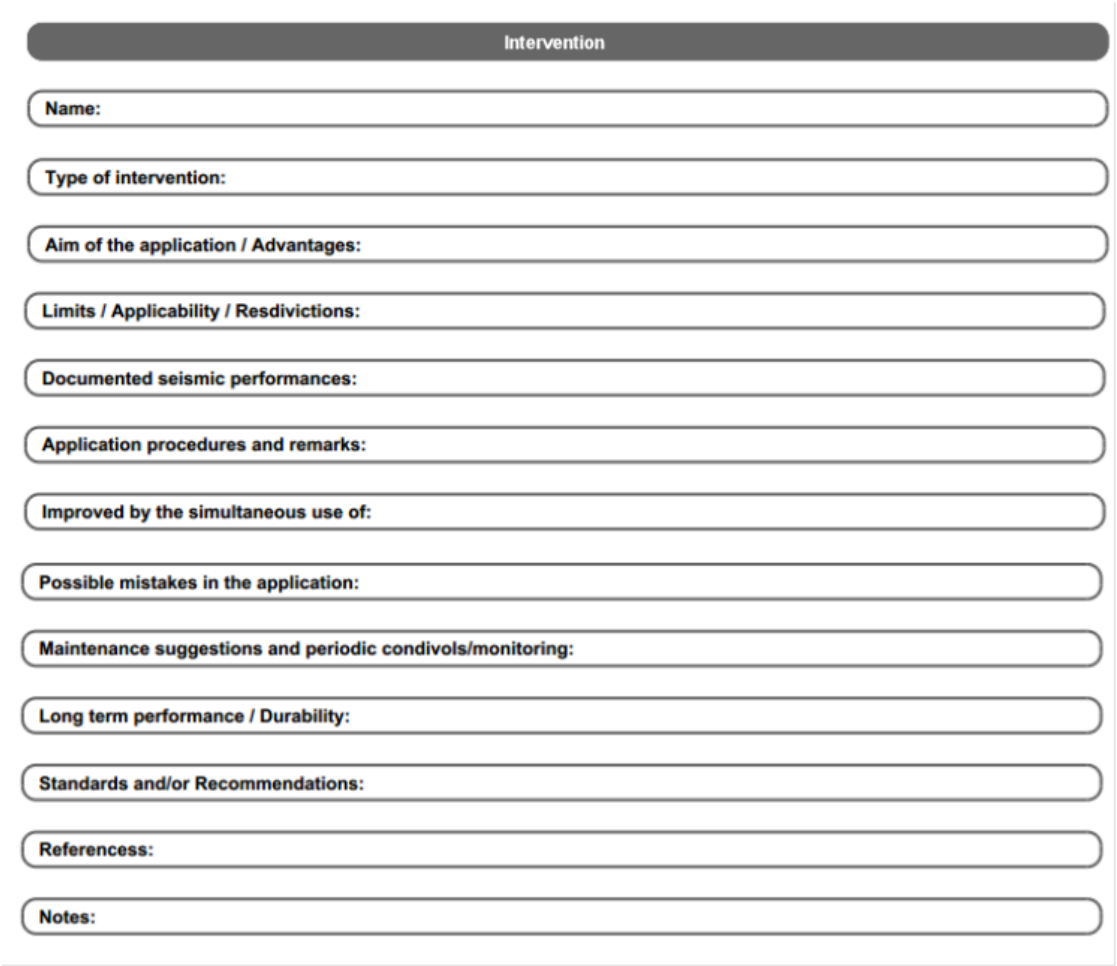


Figura 142: Schema della scheda per la catalogazione degli interventi

La funzione della scheda è quello di fornire tutte le informazioni utili a definire l'intervento sotto ogni aspetto: specifiche tecniche, scopo e i limiti di applicabilità, efficacia sismica documentata, procedure applicative, eventuale interazione con altri interventi, possibili errori applicativi, suggerimenti per un corretto monitoraggio, informazioni disponibili sulla durabilità, richiamo a regolamenti e/o raccomandazioni esistenti e lista di pubblicazioni che ne hanno trattato. La Tabella 24 descrive il significato di ciascuna voce riportata nella scheda, mentre la Tabella 25 riporta, come esempio, la scheda compilata per le iniezioni. Il catalogo completo delle schede dei 97 interventi inseriti nel "data warehouse" è riportato nell'Allegato 5.

Tabella 24: Descrizione delle voci della scheda di catalogazione degli interventi

Voce	Descrizione
Nome	Denominazione dell'intervento.
Tipo di intervento	Definisce se l'intervento è di tipo locale o globale.
Scopo dell'applicazione / Vantaggi	Definisce lo scopo e i vantaggi dell'intervento.
Limiti / Applicabilità / Restrizioni	Definisce quando la tecnica di intervento è opportuna e le precauzioni che devono essere intraprese per garantire la sua corretta realizzazione. Definisce i limiti di di applicabilità e le condizioni che ne sconsigliano l'uso. Definisce eventuali restrizioni tecnico-normative per l'applicabilità dell'intervento.
Prestazioni sismiche documentate	Descrive, con opportuni e accurati riferimenti bibliografici, le esperienze esistenti e documentate di interventi analoghi.
Procedure e suggerimenti applicativi	Descrive nel dettaglio le procedure applicative dell'intervento ed eventuali suggerimenti e raccomandazioni tecniche.
Migliorato dall'uso contemporaneo di	Specifica gli interventi o gli accorgimenti tecnici che contribuiscono a migliorare l'efficienza dell'intervento in oggetto.
Possibili errori applicativi	Descrive gli errori tipici che si riscontrano nell'applicazione dell'intervento. Sarebbe opportuno, anche se non espressamente richiesto, inserire dei riferimenti bibliografici.
Suggerimenti per la manutenzione e i controlli/monitoraggi periodici	Specifica del dettaglio gli eventuali controlli e i monitoraggi a cui sottoporre il manufatto e gli elementi introdotti con l'intervento.
Prestazione a lungo termine / Durabilità	Specifica la durabilità dell'intervento e la sua efficacia nel tempo.
Norme e Raccomandazioni	Elenca le norme e le raccomandazioni a cui l'intervento deve fare riferimento
Riferimenti bibliografici	Elenca tutti i riferimenti bibliografici noti sull'intervento.
Note	Specifica ulteriori considerazioni non comprese nelle voci precedenti.

Tabella 25: Scheda del catalogo degli interventi relativa alle iniezioni

Grout injection	
Name:	Grout injection
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: This intervention consists on injecting binder mixtures of different types into the masonry, using particular techniques, in order to: Reconstitute the structural continuity of the masonry; Increase the masonry homogeneity, filling voids; Improve the masonry mechanical properties, (increase the masonry strength); Fill cracks. Advantages: Low tech equipment and workmanship; Possible use of premix grouts.
Limits / Applicability / Restrictions:	Applicability: This intervention should be used when the deterioration of the masonry is due to the binder and when within the wall section there is a certain amount of voids, sufficiently interconnected between them, to allow the mixture to penetrate and spread through the wall; the technique is appropriate for stone masonry when diffuse lesions are present, in which there is usually a higher percentage of inner voids when comparing with other type of masonry. The choice of the mixture to inject is done by selecting the best characteristics for the type of wall on which to intervene, for example, the mechanical strength of the mixture and its deformation characteristics, (Elastic Modulus and Poisson's Ratio), should be similar to those of the original wall. To obtain a high penetration of the mixture, the size of the composing materials should be small and homogeneous and the mixture should present a low-viscosity in the fluid state, the curing and hardening period should be suitable for the execution of the intervention and the shrinkage must be limited, the chemical properties of the binder should be maintained throughout time and should be compatible with those of the original mortar, the mixture should not be soluble in water, should not vary in volume with moisture and should not obstruct the movement of vapor; finally, the material used to create the mixture should be easily found and inexpensive. The technique is effective in the crack filling. Limits: The main limit of the technique is related to the frequent lack of voids in masonry. The grout cannot spread throughout the section. In this case the technique is ineffective. Gypsum mortars or stones rich in sulphate require particular grout composition.
Documented seismic performances:	Sometimes, in the case of disastrous events such as earthquakes, an apparent ineffectiveness of the consolidations using injection is observed. In fact, in these cases there is an inhomogeneous execution of the intervention due to: (1) a poor design of the injection mixtures, (2) a rough and uncontrolled execution of the intervention, (3) a punctual distribution of the mixture due to the excessive distance between the injection holes. The ineffectiveness of the interventions injection, therefore, is due to poor execution of the same, not the technique itself. Surveys after the 1997 earthquake in Umbria on damaged walls often showed the difficulty of diffusion of the grout injection within stone masonry sections. Frequently only some spots were injected in the case of this wall with a very low percentage of voids, (Binda 2003).
Application procedures and remarks:	The different phases of work necessary to carry out in order to perform an injection intervention are the following: Choice of the injection point and of the layout, according to the masonry characteristic (presence of cracks, porosity, geometry, etc.); 2-3 injections point/m^2 could be effective; Removal of the damaged plaster and crack filling (to avoid loss of grouts); Hole drilling (diameter: 40.0mm); Positioning of the injection devices and repointing by mortar; Preliminary water injection in order to remove dust and disaggregate materials but also to saturate the wall, avoiding the masonry suction; Evaluation of the injection pressure; Grout injection, starting from the perimeter area of the base. These stages may have different characteristics depending on the mixture and on the

	injection technique adopted. Preliminary applicability tests on selected areas are highly recommended, as well as their visual inspection by local dismantling.
Improved by the simultaneous use of:	Steel-Ties.
Possible mistakes in the application:	The main problems connected to the grout injection can be summarized as follows: (a) the lack of knowledge on the size distribution of voids in the wall, (b) the difficulty of the grout to penetrate into thin cracks (2 to 3mm), even if microfine binders are used; (c) the presence in the wall, of fine and large size voids, which make difficult choosing the most suitable grain size of the grout (injecting large size voids with a fine grained mix can in fact induce segregation); (d) the segregation and shrinkage of the grout due to the high rate of absorption of the material to be consolidated; (e) the difficulty of grout penetration, especially in presence of silty or clayey materials; (f) the need for sufficiently low injection pressure to avoid either air trapping within the cracks and fine voids or even wall disruption. Therefore, the effectiveness of a repair by grout injection depends not only on the characteristic of the mix used, but also on its mechanical properties and on the injection technique adopted and once again on the knowledge of the wall type. The injectability of the grout is influenced also by its compatibility with the masonry to be repaired. The technical improvements of the last years has developed new grouts with specific properties, such as a low salt content and a ultra fine size of the aggregate, has shown how to optimize the injection methodology, such as the injection pressure or the distance between the injectors, in function of the masonry characteristics. Multiple leaf walls can be made with very poor mortars and stones but have very low percentage of voids (less than 4.0% of voids is not injectable) and have internal filling with loose material, which is not injectable.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If applicable, the technique does not require any particular control.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards were developed. Recommendation for the application procedures are shortly described in the following documents (in Italian): Legge Regionale Friuli Venezia Giulia, DT 2 del Novembre 1977. Decreto 2 Luglio 1981, Circolare 30 Luglio 1981.
Referencess:	Binda, L., Modena, C. and Baronio, G., 1993, Strengthening of masonries by injection technique, 6th North American Masonry Conf., Vol. I, Philadelphia, pp. 1-14. Binda, L., Modena, C., Baronio, G. and Gelmi, A., 1994, Experimental qualification of injection admixtures used for repair and strengthening of stone masonry walls, 10th Int. Brick/Block Masonry Conf., Calgary, Vol.2, pp. 539-548. Binda, L., Modena, C., Baronio, G., Abbaneo, S., 1997. Repair and investigation techniques for stone masonry walls, Construction and Building Materials, Vol. 11, N.3, pp. 133-142. Binda, L., Cardani, G., Penazzi, D., Saisi, A., 2003, Performance of some repair and strengthening techniques applied to historical stone masonries is seismic areas, Proc. ICPCM a New Era of Building, Cairo, Egypt, 2, 1195-1204. Laefer, D., Baronio, G., Anzani, A., and Binda, L., 1996, Measurement of grout injection efficacy for stone masonry walls, 7th North American Masonry Conf., Notre Dame, USA, Vol. 1, pp. 484-496. Miltiadou A. E., 'Contribution à l'étude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie', Thèse de Doctorat. Ecole Nazionale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1990. Modena, C. and Bettio, C., 1994, Experimental characterization and modeling of injected and jacketed masonry walls, Proc. Italian-French Symposiu Penazzi, D., Valluzzi, M.R., Cardani, G., Binda, L., Baronio, G. and Modena, C., 2000, Behaviour of historic masonry buildings in seismic areas: lessons learned from the Umbria-Marche earthquake, 12th Int. Brick/Block Masonry Conf., Madrid, pp. 217-235. Penazzi, D., Valluzzi, M.R., Saisi, A., Binda, L. and Modena, C., 2001, Repair and strengthening of historic masonry buildings in seismic areas, Int. Congr. More than Two Thousand Years in the History of Architecture Safeguarding the Structure of our Architectural Heritage, Bethlehem, (Palestine), Vol. 2, Section 5. Tomazevic 1992. Tomazevic M., (1992), Laboratory and in situ tests of the efficacy of grouting and tying of stone masonry walls. Int. Workshop on Effectiveness of Injection Techniques and Retrofitting of Stone and Brick Masonry Walls in Seismic Area, ed. by L. Binda, Milan, pp. 95-116.

	Valluzzi, M.R. 2000. Comportamento meccanico di murature storiche consolidate con materiali e tecniche a base di calce. Ph.D. thesis, Università di Trieste. Valluzzi, M.R., da Porto, F., Modena, C. 2001. Modelling of the mechanical properties of injected multi-leaf stone masonry walls. Fifth International Symposium on Computer methods in Structural Masonry "STRUMAS V", Rome, 18-20 April 2001. Vintzileou, E. and Tassios T.P. 1995. Three leaf stone masonry strengthened by injecting cement grouts. Journal of Structural Engineering, May 1995, p. 848-856.
Notes:	

La presenza di un elevato numero di partecipanti e di ditte private nel progetto NIKER ha permesso di individuare soluzioni e interventi anche molto specifici, a volte coperti da brevetto.

La Tabella 26 riporta gli interventi associati a ciascun elemento costruttivo. L'analisi dettagliata della correlazione tra intervento, tipologia di materiale e meccanismo di rottura rappresenta uno dei risultati di questa Tesi ed è riportata nel paragrafo 6.1.

Tabella 26: Interventi associati a ciascun elemento costruttivo nel “data warehouse”

CONSTRUCTION ELEMENT	INTERVENTION
Wall	Bolts Bond-beam (flexible, i.e. timber) Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel) Buttresses Cables and straps Crack and void grouting Crack Stitching Diaphragm Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls Geotextiles at both faces, through-wall tied Grout injection Metallic strips and diagonals Post-tensioning of vertical strengthening Reinforced concrete cooperating slab Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners Reinforced repointing Simple repointing Steel connection elements Steel flat bars (NSM) Steel mesh with cement plaster Steel plates Steel plates and hidden joints Steel rods and additional nails and bolts Textile-reinforced mortar Timber flange connected by dowels to main beams Transversal ties Wooden horizontal chaining
Floor	Additional connection elements Anchor bolts for semi-rigid connection Anchorage, Wall cross-ties Anti-Rust treatment Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel) Composite materials Cross beam built from the intrados of the existing wooden floor Enlargement Load Reduction and control Metallic diagonals Metallic plates Metallic strips and diagonals Orthogonal or diagonal planking Reinforced concrete cooperating slab Steel I Beam Replacement Steel plates welding Stoppers/restriction braces insertion Strengthening of laminated wooden joints and increase of ductility Supporting wall stabilization Timber flange connected by dowels to main beams Void filling Water sealing
Roof	Additional connection elements Anchor bolts for semi-rigid connection Application of FRP composite strips glued to the surface Bond-beam (flexible, i.e. timber) Cables and straps Diaphragm Metallic plates Metallic strips and diagonals Ties beams or Ties rods Transversal ties
Arch / Vault	Buttresses Extrados r.c. jacketing Extrados stiffening elements (frenelli) Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG

	FRP/SRP/SRG application on vaults Reducing the loads from extrados infilling Ties beams or Ties rods
Columns	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG Crack and void grouting External support system Grout injection Metallic strips and diagonals Reinforced repointing Scuci-Cuci Steel rods and additional nails and bolts Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls) Vertical core stainless steel rod Vertical prestressing
Sub-Assemblage Connections	Column-ties Composite materials Continuous ledger and lag screws Corner confinement by composite materials Corner confinement by Geomesh Corner confinement by Polypropylene (PP) mesh Corner confinement by steel mesh Cross ties/anchors without end plate Cross-ties/anchors with end plate Ductile anchor plates External wall plates/Timber bands Frictional anchor dissipative device Hysteretic anchor dissipative device LATLAM Metallic anchor with end plate and steel angle Metallic connectors timber joists to wall Oak plate inserted between wooden elements Perimeter horizontal cable Plate of carbon fibres and adhesive glued to contact surfaces of both wooden beams RAG energy absorbers Reinforced masonry ring beam RETE energy absorber Rotation amplifying energy absorber Scuci-Cuci Shape Memory Alloy Devices (SMADs) Shock Transmission Units (STUs) Steel ring beam Timber flange connected by bolt to main beams Timber flange connected by nails to main beams Viscous dampers Wall plates

5 IL "DATA WAREHOUSE" NIKER: STRUTTURA E FUNZIONALITÀ

Dopo aver raccolto e analizzato il materiale disponibile in letteratura, analizzato le suddivisioni tipologiche delle costruzioni, riorganizzato opportunamente le categorie dei materiali e i meccanismi di rottura, individuato i parametri e gli indicatori di rendimento prestazionale e raccolto in un catalogo omogeneo le tecniche di intervento, come descritto nei capitoli precedenti, il passo successivo è stato quello di riunire tutte queste informazioni in uno strumento in grado di essere utile per molti scopi.

Tale strumento deve innanzitutto prevedere la possibilità di inserimento di tutti i dati significativi e deve essere di facile consultazione, in grado di fornire agevolmente il dato puntuale ricercato. Al tempo stesso, deve permettere una facile correlazione tra i dati esistenti, correlazione non solamente tra i valori numerici dei parametri prima e dopo eventuali interventi, ma anche tra le categorie. Sapere a quali meccanismi di collasso è soggetta una data tipologia costruttiva in un dato materiale è un'informazione preziosa, che deve essere messa in evidenza insieme ai possibili interventi che a quella struttura possono essere applicati.

La capacità di fornire informazioni puntuali e una correlazione qualitativa e quantitativa rende il sistema uno strumento di supporto alla progettazione e alla ricerca importante ed efficace. Per tale ragione si è scelto di utilizzare il termine "data warehouse", che indica un archivio informatico contenente i dati progettati per consentire di produrre facilmente analisi e relazioni utili a fini decisionali, come definito da William H. Inmon fin dagli anni '70 (Inmon, 1992).

Lo strumento, utile a raccogliere e sistematizzare dati provenienti da diversi contesti storici, ha rappresentato uno strumento di agevole compilazione da parte dei partner del progetto NIKER, che hanno contribuito alla sua validazione e collaudo.

Per questo motivo, oltre a contenere il materiale reperito nella bibliografia esistente, nel "data warehouse" sono riportati anche valori dei parametri ricavati dalle sperimentazioni e dalle modellazioni numeriche realizzate nel corso del progetto [Sito 33].

Un altro requisito importante richiesto al sistema è quello di poter il più possibile agevolare la condivisione della conoscenza. Per poter soddisfare questa esigenza si è scelto di costruire il sistema con tecnologie di programmazione web, inserendolo in un sito pubblicamente accessibile per consultazione, dove solo alcuni utenti autorizzati hanno la possibilità di agire sui dati inseriti.

Se è vero che il "data warehouse" rappresenta uno strumento utile a supporto della progettazione, al tempo stesso richiede che l'utilizzo delle informazioni sia appannaggio di persone esperte, con conoscenze adeguate nel campo della conservazione del patrimonio storico. È importante ribadire che lo strumento non deve essere usato per selezionare interventi senza prima valutare attentamente gli aspetti specifici di ciascun caso studio.

5.1 *ANALISI DELLE FONTI ESISTENTI*

Durante la fase preliminare di progettazione del sistema informatico, sono state analizzate le banche dati esistenti di cui si è venuti a conoscenza; questo sia per raccogliere i dati utili in esse contenuti, sia per definire vantaggi e limiti di ciascuna, sia da un punto di vista operativo che divulgativo, in modo da trovare una soluzione che fosse migliorativa dell'esistente e assolutamente innovativa. Le banche dati o i sistemi informatici analizzati sono relativi sia alle costruzioni storiche, sia a tipologie più moderne di costruzione, laddove la soluzione informatica proposta è stata ritenuta degna di nota.

5.1.1 Progetto ONSITEFORMASONRY

ONSITEFORMASONRY è stato un progetto finanziato dalla Commissione Europea che ha contribuito a fornire metodologie per la valutazione delle strutture del patrimonio storico in muratura. Una delle finalità dichiarate di questo progetto è stata quella di mettere proprietari e utilizzatori di beni storici nella condizione di risolvere problemi strutturali causati da fattori ambientali che minacciano sia la sicurezza della struttura che dei cittadini.

Il sito del progetto, in cui è possibile trovare tutte le informazioni, è: *http://www.onsiteformasonry.bam.de* (ultima visita 21/01/2014)

5.1.2 Banca dati SAMCO

La rete tematica SAMCO ha come finalità la stima, il monitoraggio e il controllo di strutture di rilevante interesse civile e industriale. La banca dati sviluppata ha come scopo quello di rendere disponibili informazioni professionali del capo della stima, del monitoraggio e del controllo strutturale ed è pubblicata per la consultazione senza vincoli di accesso.

Il sito del progetto, in cui è possibile trovare tutte le informazioni, è: *http://www.samco.org*.

Attualmente il sito della banca dati non è raggiungibile.

5.1.3 Banca dati del Politecnico di Milano

Nell'ambito di una ricerca finanziata dal CNR-GNDT è stata sviluppata una banca dati dal Politecnico di Milano con lo scopo di definire una metodologia di indagine di edifici storici in zona sismica per agevolare la diagnosi e la scelta degli interventi più appropriati. Tra le preziose informazioni disponibili in questa banca dati possiamo citare la presenza di circa 250 sezioni murarie rilevate nelle varie regioni d'Italia.

Il sito della banca dati è: *http://www.stru.polimi.it:8180* (ultima visita 28/02/2010).

Attualmente il sito è inaccessibile per manutenzione.

5.1.4 "Data warehouse" Rilem 223-MSC

Il "data warehouse" del Comitato Tecnico 223-MSC Rilem è uno strumento potente per la raccolta ed il confronto di dati e risultati provenienti da indagini sperimentali, modellazioni numeriche e varie applicazioni di compositi applicati alla muratura. Sono riportati i dati sui materiali compositi, i sistemi di rinforzo e le tipologie murarie in relazione a pubblicazioni esistenti, nonché i risultati ottenuti su singoli elementi strutturali (muri, pilastri, archi e volte) e su aspetti specifici, quali ad esempio durabilità e uso di test non distruttivi.

È l'unico esempio reperito in letteratura di "data warehouse" su materiali ed elementi costruttivi che offra un primo tentativo di correlazione tra i dati (Giacometti et al., 2012).

Il sito del Comitato Tecnico 223-MSC, in cui è possibile trovare tutte le informazioni, è: *http://rilem223msc.isqweb.it* (ultima visita 22/01/2014).

5.2 *CENNI SUL MODELLO RELAZIONALE DI DATI*

Il concetto di "modello relazionale di dati" fu introdotto nel 1970 per superare i limiti dimostrati dai precedenti modelli nella gestione di banche dati condivise di grandi dimensioni (Codd, 1970).

Per "banca dati" o "base di dati" si intende una collezione di dati che rappresenta le informazioni di interesse per un sistema informativo.

Un "modello dei dati", invece, è un insieme di concetti utilizzati per organizzare i dati di interesse e descriverne la struttura in modo da essere comprensibile ad un elaboratore elettronico, ed è costituito dalla combinazione di almeno tre elementi (Codd, 1981):

- *una collezione di tipi di strutture di dati (i mattoni costitutivi di ciascuna banca dati che si conforma al modello);*
- *una collezione di operatori o regole di inferenza, che possono essere applicate a ciascuna istanza valida dei tipi di dati definiti nel punto precedente, per recuperare o derivare dati da qualunque parte di tali strutture in qualunque combinazione desiderata;*
- *una collezione di regole generali di integrità, che implicitamente o esplicitamente definiscono l'insieme di stati e/o cambiamenti di stato coerenti della base di dati – queste regole possono talvolta essere espresse come regole di inserimento-modifica-cancellazione.*

Nel modello relazionale, la parte strutturale è costituita da (Codd, 1982):

- domini, ovvero gli insiemi di valori;
- relazioni, rappresentate concettualmente sotto forma di tabelle;
- attributi, rappresentati concettualmente dalle colonne delle tabelle e identificati con un nome specifico;
- tuple[7], rappresentate concettualmente dalle righe delle tabelle;
- chiavi primarie, particolari domini costituiti da insiemi di valori ciascuno dei quali identifica univocamente una data tupla;
- chiavi esterne, particolari domini i cui elementi sono valori di chiavi primarie.

Il secondo elemento, definito anche "parte manipolativa", consiste in operatori algebrici che trasformano relazioni in relazioni, ovvero tabelle in altre tabelle.

[7] Nella teoria delle basi di dati si definisce "tupla" un generico elemento di una relazione con attributi (Codd, 1970).

Il terzo elemento, definito "parte di integrità", consiste di due regole di integrità:

- integrità dei dati, che stabilisce che ogni relazione deve avere una chiave primaria e che ciascuna chiave primaria sia costituita da elementi unici e non nulli.
- integrità referenziale, che stabilisce che gli attributi di una relazione possono assumere solo i valori specificati in un'altra relazione.

Il modello relazionale può essere esteso con altre regole di integrità e/o altri elementi in funzione di esigenze specifiche. Il "data warehouse" NIKER si basa su un modello relazionale e aggiunge l'elemento "vista" ai tre elementi base del modello.

Una vista è il risultato di una manipolazione di una o più relazioni che si usa per ricavare un insieme specifico di dati ed è definita come "una relazione virtuale rappresentata esclusivamente dal suo nome e dalla sua definizione" (Codd, 1990). Può essere considerata una rappresentazione di una relazione, dal momento che ne assume la stessa forma tabellare, ma non è una relazione perché non consente manipolazioni sui dati. I dati esposti da una vista cambiano automaticamente quando si modificano i dati delle relazioni di partenza.

5.3 *LA STRUTTURA DEL "DATA WAREHOUSE"*

5.3.1 Lo schema concettuale

La sequenza logica delle operazioni deve seguire il naturale processo di analisi di un progetto di intervento su una struttura già danneggiata da un evento sismico o che si intende proteggere da un evento futuro. In entrambi i casi il punto di partenza è rappresentato dall'analisi dell'elemento costruttivo da riparare o rinforzare e dei materiali di cui è composto, definendo i parametri misurabili fisici e meccanici che caratterizzano questi ultimi e i loro eventuali componenti specifici.

Il secondo passo è quello di definire il meccanismo di collasso a cui si vuol porre rimedio, identificando gli indicatori di rendimento, sia misurabili che descrittivi, mobilitati dal meccanismo stesso. Gli indicatori misurabili serviranno da filtro ai parametri dell'elemento, mentre i parametri descrittivi serviranno alla scelta ottimale dell'intervento.

Il terzo passo sarà dunque la scelta di uno o più interventi adeguati alla combinazione tra elemento e meccanismo di collasso.

Ciascun intervento potrà produrrà modifiche sui parametri misurabili dell'elemento o del materiale e, in taluni casi, l'intervento può modificare il meccanismo stesso; in più, possono essere introdotti dei nuovi materiali durante l'intervento, che saranno caratterizzati da parametri misurabili.

Questo processo, schematizzato in **Figura 143**, può eventualmente essere moltiplicato per tutti gli elementi di una data struttura.

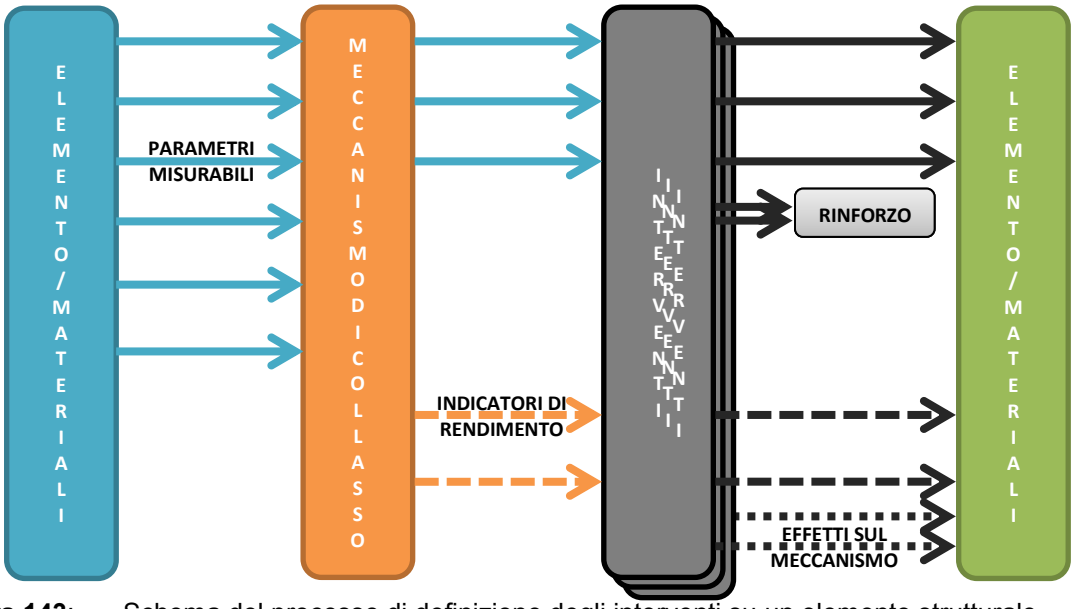


Figura 143: Schema del processo di definizione degli interventi su un elemento strutturale

I valori dei parametri misurabili, oltre ad avere una fonte scientifica documentata, devono essere anche confrontabili tra loro. Per soddisfare queste due esigenze si è scelto di collegare ciascun valore dei parametri alla pubblicazione da cui è stato ricavato, impedendo l'immissione di valori senza una fonte conosciuta; in più, è stata aggiunta la possibilità di inserire un'etichetta identificativa a ciascun valore, in modo da permetterne il confronto tra gruppi ristretti. Si rimanda ai paragrafi 5.4 e 5.5 per la descrizione dettagliata di questo processo.

Lo schema di processo riportato in **Figura 143** è stato tradotto in uno schema concettuale del tipo entità-associazione[8] (Chen, 1976), più adatto alle esigenze di un modello relazionale (**Figura 144**).

Per evitare confusioni di terminologia, d'ora in poi le "relazioni" proprie del modello relazionale saranno chiamate "tabelle", tenendo conto della loro rappresentazione concettuale.

[8] Il modello qui definito entità-associazione è denominato nella letteratura in lingua italiana anche modello entità-relazione. Si preferisce la prima definizione per evitare confusioni terminologiche; tale confusione deriva dalla traduzione col termine "relazione" di entrambi i termini inglesi "relation" e "relationship", il primo dei quali è usato nella sua accezione matematica per indicare le relazioni del modello relazionale (tabelle), mentre il secondo per indicare le associazioni tra esse.

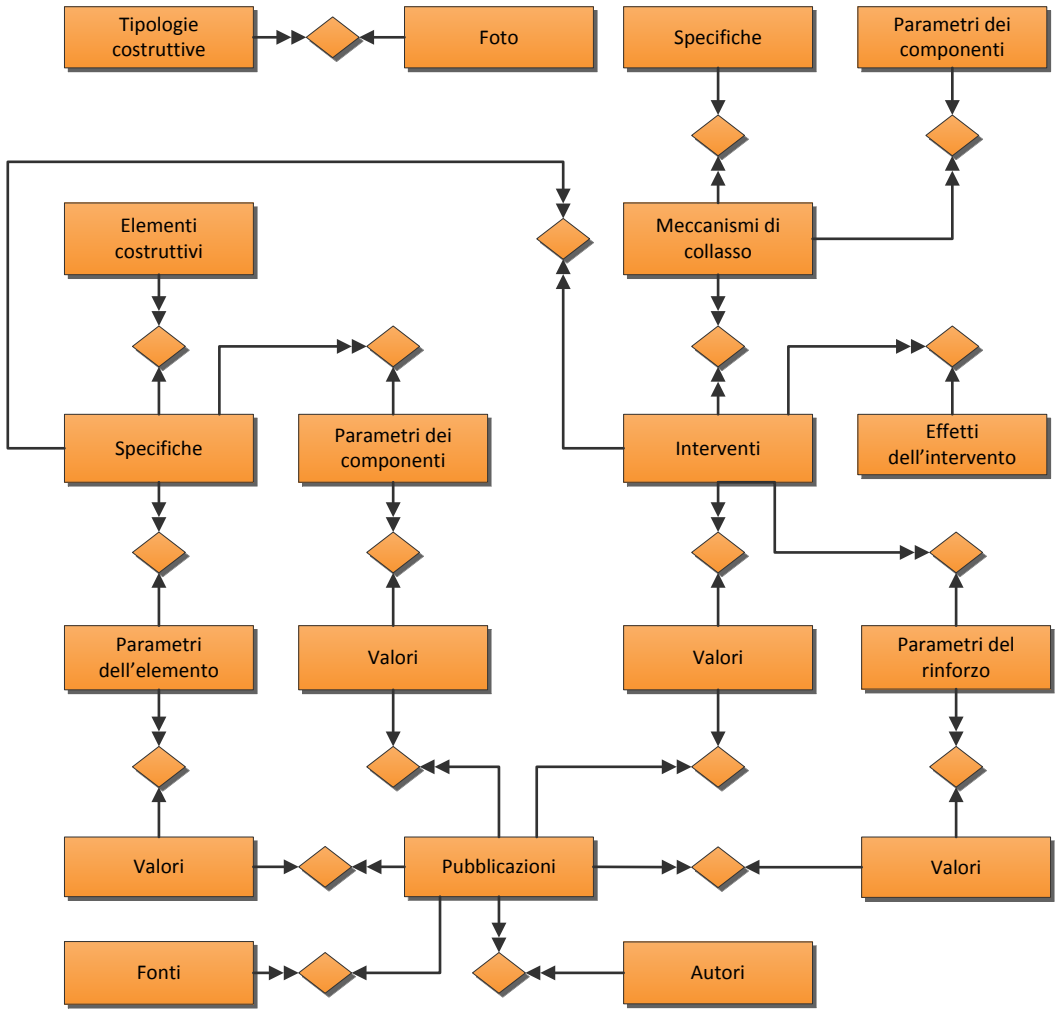


Figura 144: Schema concettuale del modello relazionale del "data warehouse"

Le tipologie delle associazioni nello schema concettuale sono illustrate in **Figura 145**.

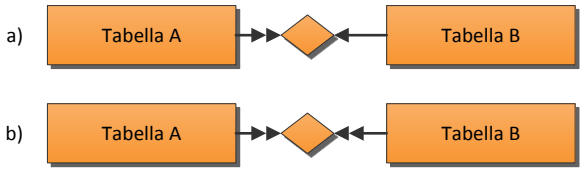


Figura 145: Tipologia delle associazioni tra le tabelle nello schema concettuale

a) Associazione uno a molti: ad ogni tupla della Tabella A corrispondono molte tuple della Tabella B. L'associazione avviene tra la chiave primaria della Tabella A e la rispettiva chiave esterna della Tabella B.

b) Associazione molti a molti: ad ogni tupla della Tabella A corrispondono molte tuple della Tabella B e viceversa. L'associazione avviene introducendo una nuova tabella che conterrà due chiavi esterne associate alle corrispondenti chiavi primarie della Tabella A e della Tabella B.

5.3.2 Lo schema relazionale

La traduzione dello schema concettuale nello schema relazionale consiste nell'identificare il numero di tabelle necessarie e di definire, per ciascuna di esse, la chiave primaria, le eventuali chiavi esterne, gli attributi e i loro tipi. Tale operazione viene definita mappatura [Sito 34].

Il risultato dell'operazione di mappatura è stata la definizione di 32 tabelle e dei rispettivi attributi. Il nome di ciascuna tabella è stato scelto convenzionalmente in modo da rendere agevole il suo riconoscimento e, in generale, è costituito dal nome inglese plurale dell'oggetto di cui la tabella è astrazione; la chiave primaria di ciascuna tabella è stata denominata per convenzione "id". Le eventuali chiavi esterne sono definite dal nome al singolare della tabella associata seguito dal suffisso "_id".

Oltre alla definizione delle tabelle è stato inserito anche un oggetto "vista", la cui definizione è mirata ad associare tra loro le tabelle delle pubblicazione e delle fonti per estrarre un insieme di attributi utile in fase di inserimento dei valori dei parametri. Si rimanda al paragrafo 5.4 per maggiori dettagli.

In Tabella 27 sono riassunti i nomi delle tabelle e della vista definite nel modello relazionale.

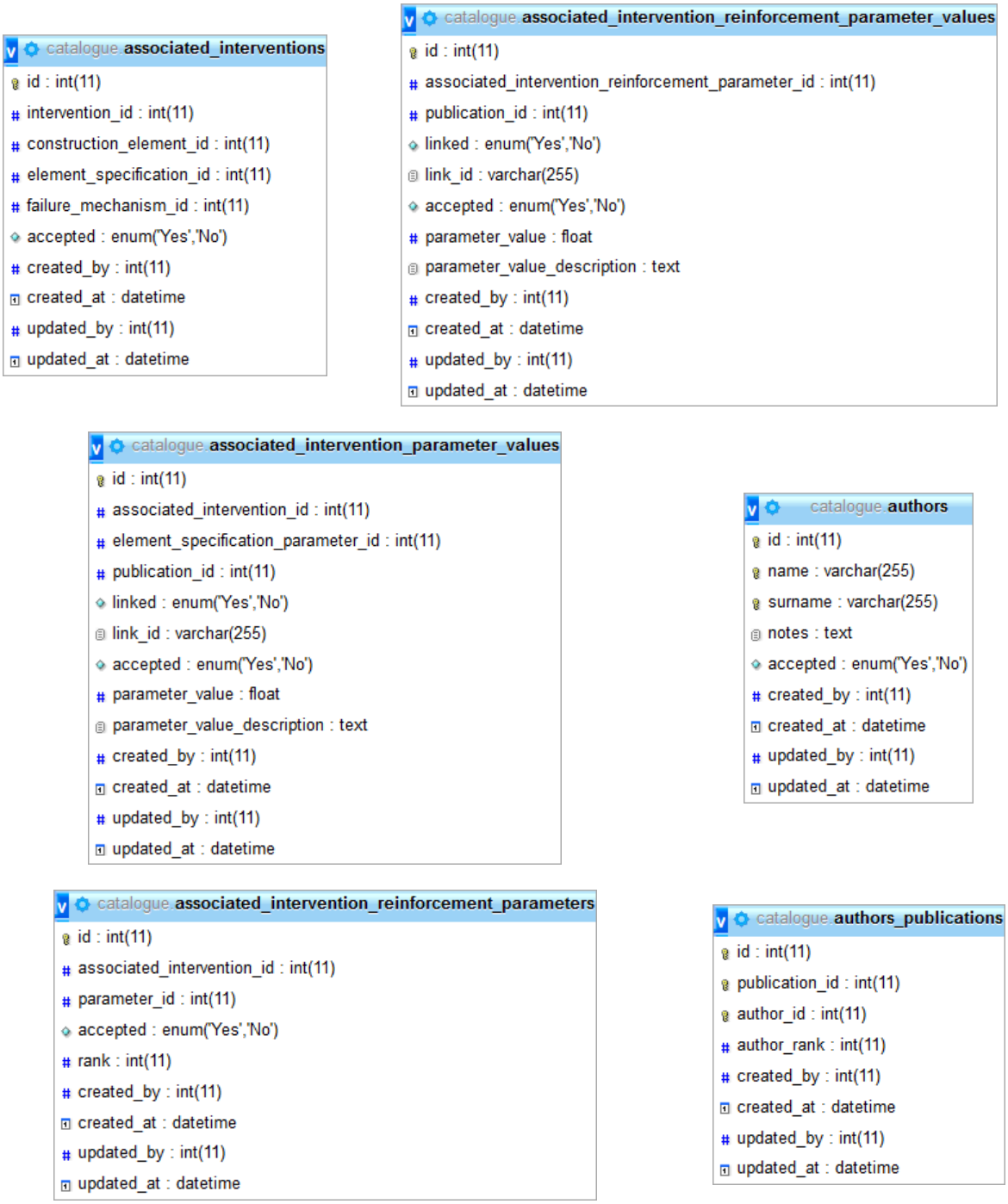
Tabella 27: Tabelle e viste della banca dati

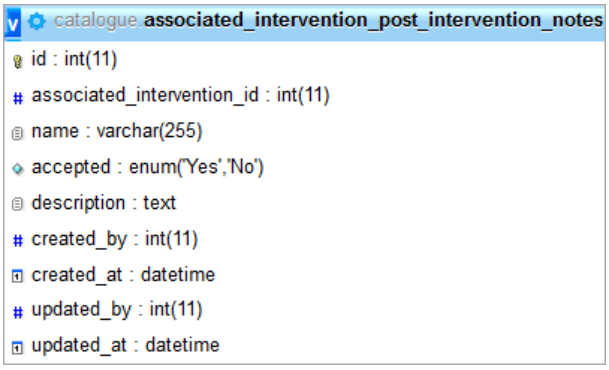
TABELLE
associated_intervention_parameter_values
associated_intervention_post_intervention_notes
associated_intervention_reinforcement_parameter_values
associated_intervention_reinforcement_parameters
associated_interventions
authors
authors_publications
components
construction_elements
construction_typologies
construction_typology_photos
countries
element_specification_component_parameter_values
element_specification_component_parameters
element_specification_parameter_values
element_specification_parameters
element_specifications
element_typologies
failure_mechanism_parameters
failure_mechanism_performance_indicators
failure_mechanisms
institutions
interventions
languages
parameters
performance_indicators
publications
sources
users
VISTE
publication_list

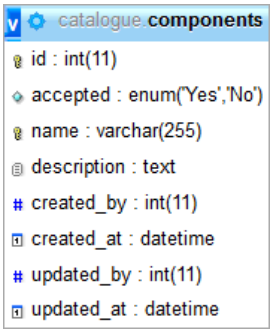
La **Figura 146** riporta la definizione degli attributi per ciascuna tabella, i cui tipi sono definiti come specificato in Tabella 28; la **Figura 147** riporta la definizione della vista.

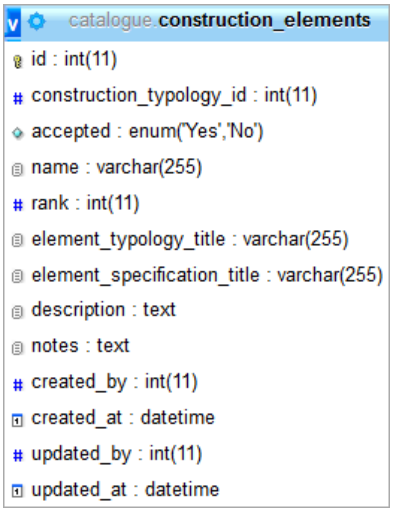
Tabella 28: Descrizione dei tipi di attributi definiti nelle tabelle della banca dati

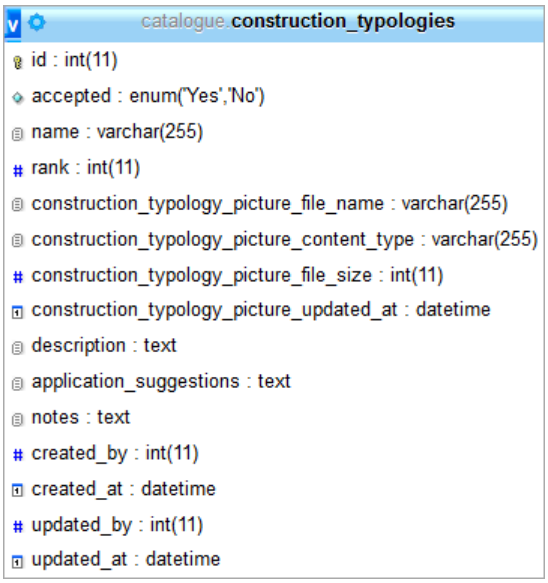
int	Numero intero (il numero tra parentesi rappresenta il numero massimo di cifre)
varchar	Sequenza di caratteri (il numero tra parentesi rappresenta il numero massimo di caratteri)
text	Testo
enum	Lista (tra parentesi sono specificate le scelte possibili)
float	Numero reale
date	Data
datetime	Data e ora

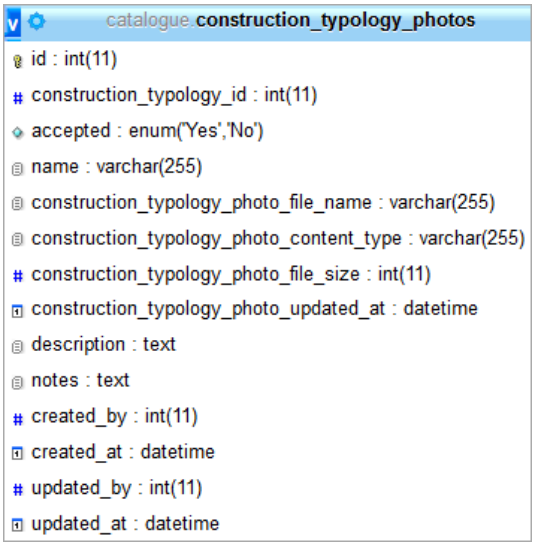


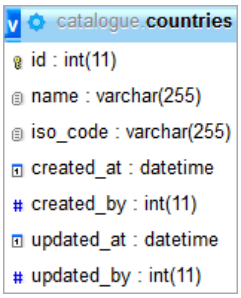

catalogue.associated_intervention_post_intervention_notes
id : int(11)
associated_intervention_id : int(11)
name : varchar(255)
accepted : enum('Yes','No')
description : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

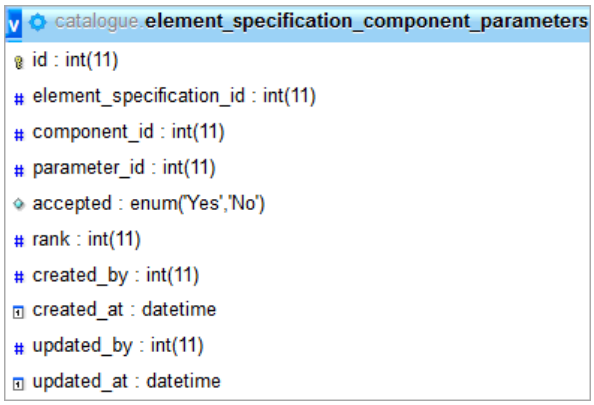

catalogue.components
id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
description : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

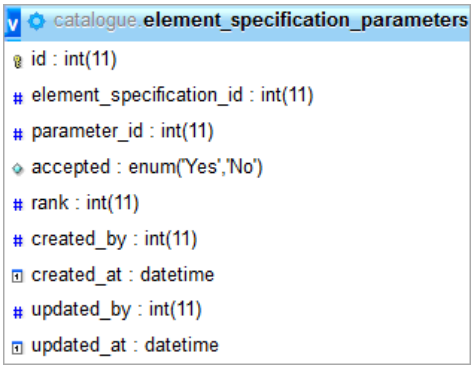

catalogue.construction_elements
id : int(11)
construction_typology_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
rank : int(11)
element_typology_title : varchar(255)
element_specification_title : varchar(255)
description : text
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

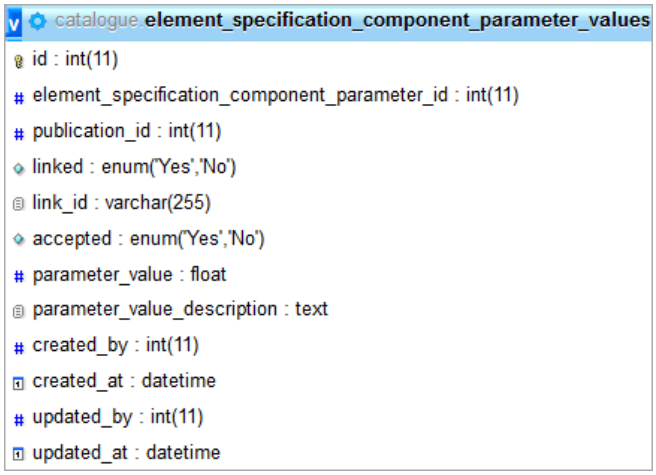

catalogue.construction_typologies
id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
rank : int(11)
construction_typology_picture_file_name : varchar(255)
construction_typology_picture_content_type : varchar(255)
construction_typology_picture_file_size : int(11)
construction_typology_picture_updated_at : datetime
description : text
application_suggestions : text
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

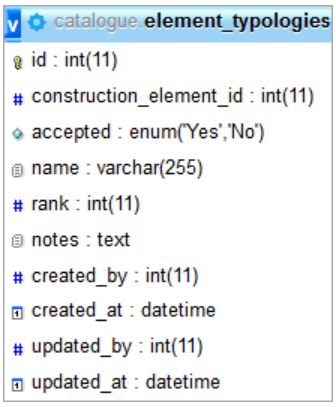

catalogue.construction_typology_photos
id : int(11)
construction_typology_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
construction_typology_photo_file_name : varchar(255)
construction_typology_photo_content_type : varchar(255)
construction_typology_photo_file_size : int(11)
construction_typology_photo_updated_at : datetime
description : text
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

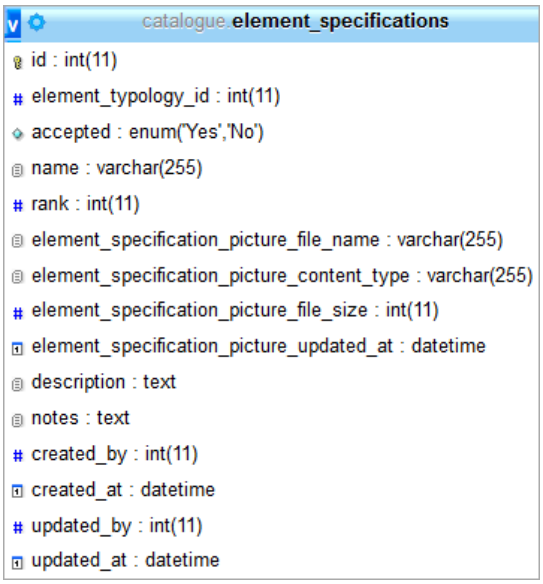

catalogue.countries
id : int(11)
name : varchar(255)
iso_code : varchar(255)
created_at : datetime
created_by : int(11)
updated_at : datetime
updated_by : int(11)

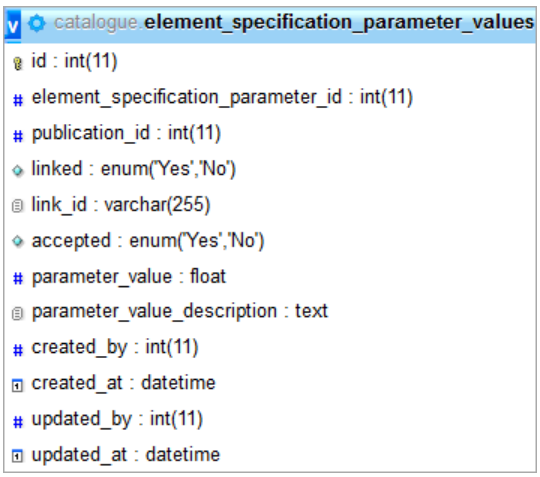

catalogue.element_specification_component_parameters
id : int(11)
element_specification_id : int(11)
component_id : int(11)
parameter_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
rank : int(11)
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

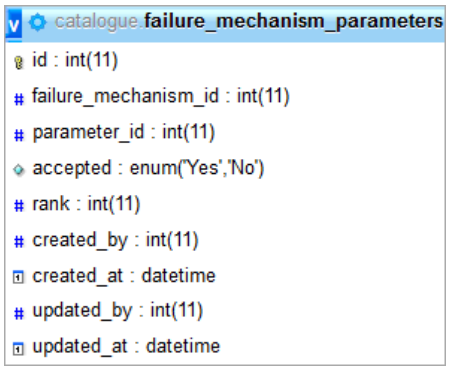

catalogue.element_specification_parameters
id : int(11)
element_specification_id : int(11)
parameter_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
rank : int(11)
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

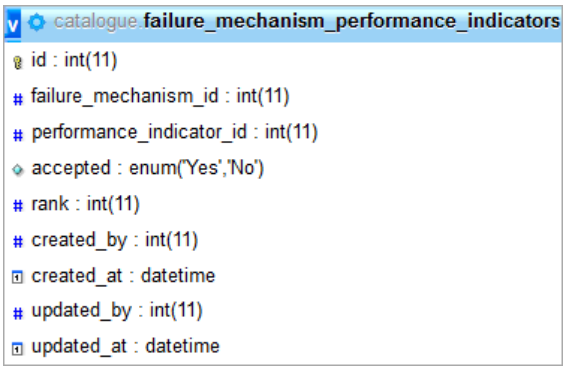

catalogue.element_specification_component_parameter_values
id : int(11)
element_specification_component_parameter_id : int(11)
publication_id : int(11)
linked : enum('Yes','No')
link_id : varchar(255)
accepted : enum('Yes','No')
parameter_value : float
parameter_value_description : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

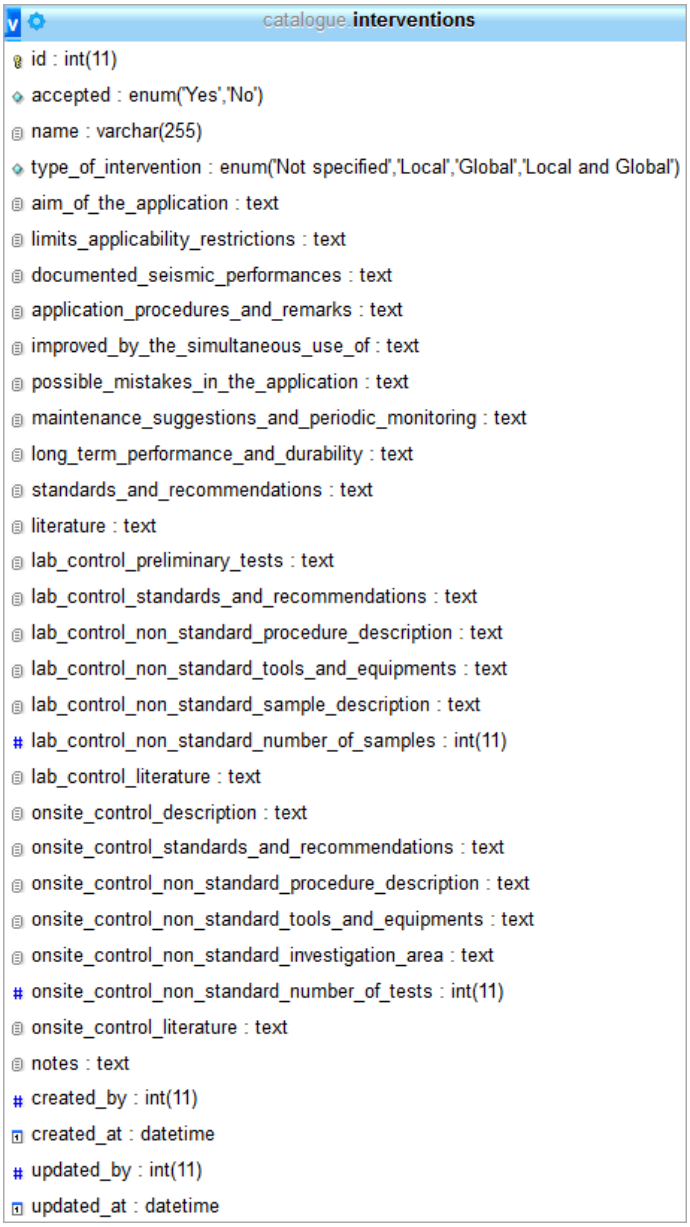

catalogue.element_typologies
id : int(11)
construction_element_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
rank : int(11)
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

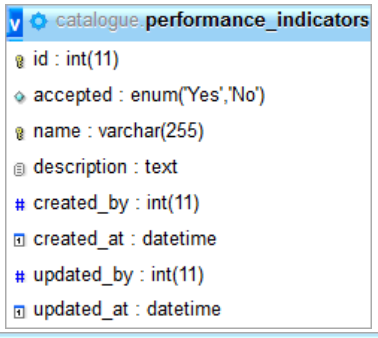

catalogue.element_specifications
id : int(11)
element_typology_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
rank : int(11)
element_specification_picture_file_name : varchar(255)
element_specification_picture_content_type : varchar(255)
element_specification_picture_file_size : int(11)
element_specification_picture_updated_at : datetime
description : text
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

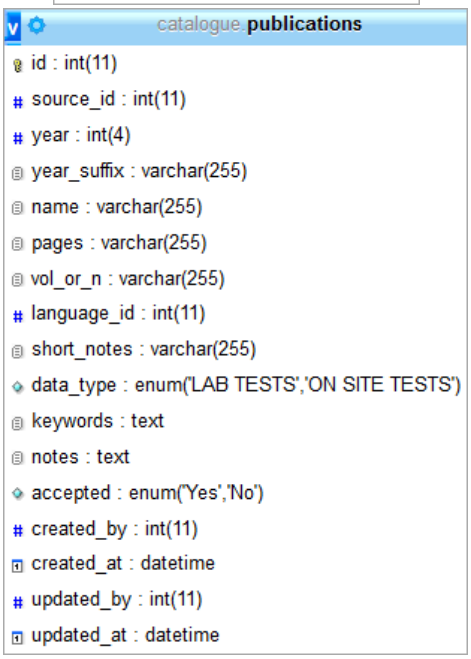

catalogue.element_specification_parameter_values
id : int(11)
element_specification_parameter_id : int(11)
publication_id : int(11)
linked : enum('Yes','No')
link_id : varchar(255)
accepted : enum('Yes','No')
parameter_value : float
parameter_value_description : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime


catalogue.failure_mechanism_parameters
id : int(11)
failure_mechanism_id : int(11)
parameter_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
rank : int(11)
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime


catalogue.failure_mechanism_performance_indicators
id : int(11)
failure_mechanism_id : int(11)
performance_indicator_id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
rank : int(11)
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime


catalogue.interventions
id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
type_of_intervention : enum('Not specified','Local','Global','Local and Global')
aim_of_the_application : text
limits_applicability_restrictions : text
documented_seismic_performances : text
application_procedures_and_remarks : text
improved_by_the_simultaneous_use_of : text
possible_mistakes_in_the_application : text
maintenance_suggestions_and_periodic_monitoring : text
long_term_performance_and_durability : text
standards_and_recommendations : text
literature : text
lab_control_preliminary_tests : text
lab_control_standards_and_recommendations : text
lab_control_non_standard_procedure_description : text
lab_control_non_standard_tools_and_equipments : text
lab_control_non_standard_sample_description : text
lab_control_non_standard_number_of_samples : int(11)
lab_control_literature : text
onsite_control_description : text
onsite_control_standards_and_recommendations : text
onsite_control_non_standard_procedure_description : text
onsite_control_non_standard_tools_and_equipments : text
onsite_control_non_standard_investigation_area : text
onsite_control_non_standard_number_of_tests : int(11)
onsite_control_literature : text
notes : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime


catalogue.performance_indicators
id : int(11)
accepted : enum('Yes','No')
name : varchar(255)
description : text
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime


catalogue.publications
id : int(11)
source_id : int(11)
year : int(4)
year_suffix : varchar(255)
name : varchar(255)
pages : varchar(255)
vol_or_n : varchar(255)
language_id : int(11)
short_notes : varchar(255)
data_type : enum('LAB TESTS','ON SITE TESTS')
keywords : text
notes : text
accepted : enum('Yes','No')
created_by : int(11)
created_at : datetime
updated_by : int(11)
updated_at : datetime

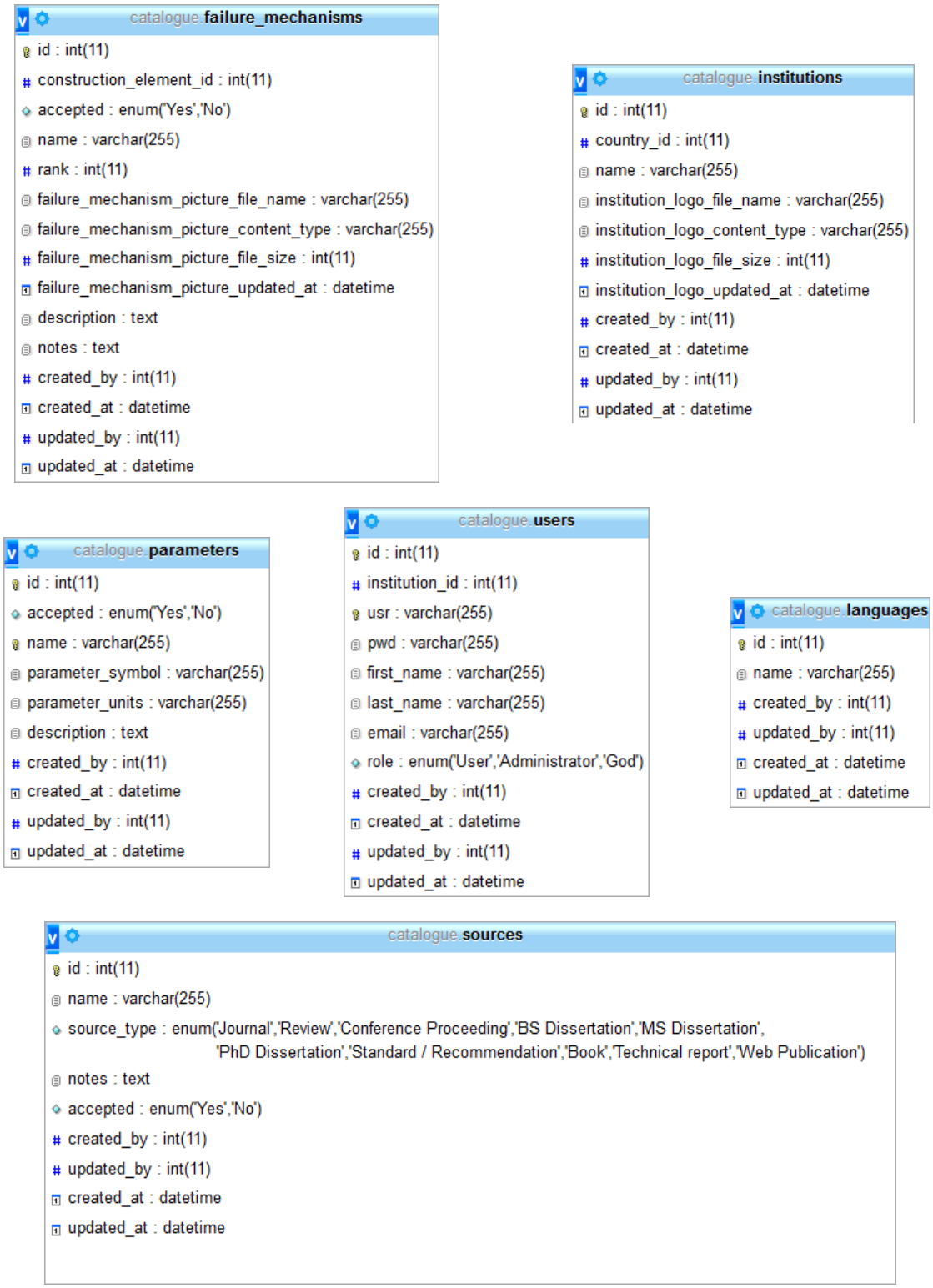


Figura 146: Definizione delle tabelle del “data warehouse”

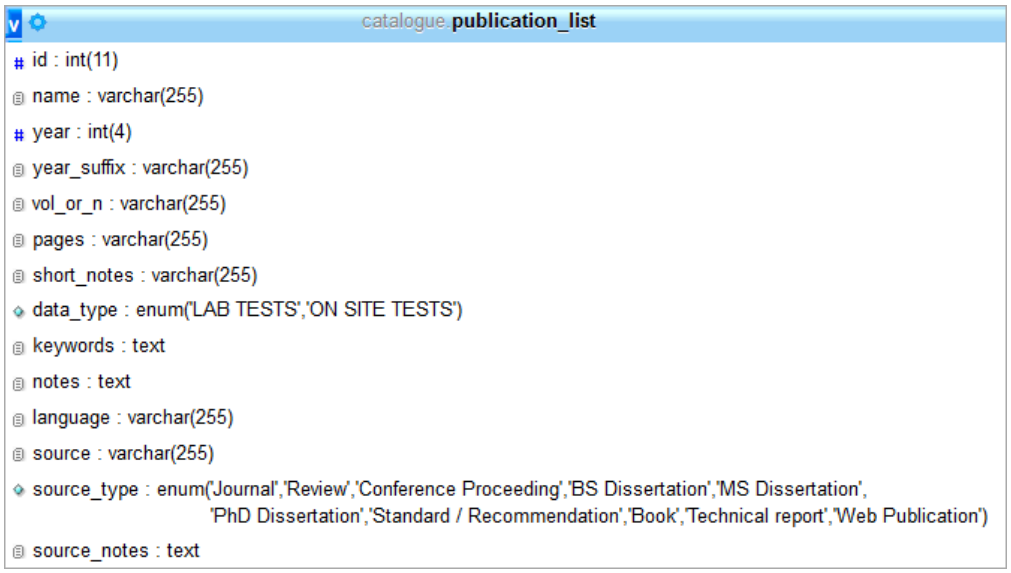


Figura 147: Definizione della vista usata nel "data warehouse"

5.3.3 La soluzione grafica

L'esigenza principale di un utilizzatore di un programma informatico è che il programma fornisca, a colpo d'occhio, un'idea sia del contenuto, che del funzionamento.

Lo studio dell'interazione uomo-computer è emerso, nelle ultime tre decadi, come un punto chiave sia della scienza computazionale, sia della psicologia dello sviluppo. Questo è avvenuto sia per alcune ragioni tecniche, finalizzate ad esempio, allo studio delle interfacce utente, sia per ragioni culturali, dal momento che l'elaboratore elettronico è diventato per tutti uno strumento quotidiano di lavoro, sia per ragioni commerciali, finalizzate a massimizzare la capacità di attirare l'attenzione di potenziali consumatori.

I primi studi su quella che viene chiamata "psicologia del software" risalgono già alla metà degli anni '70 (Shneiderman, 1980), con lo scopo di stabilire l'utilità di un approccio comportamentale nello studio della progettazione di un programma e dei sistemi computazionali interattivi e per costruire delle linee guida di programmazione che tenessero conto delle caratteristiche umane dei futuri utilizzatori.

Da allora sono nati numerosi progetti che hanno riguardato ciò che oggi si definisce "usabilità" di un sistema o di un programma, ovvero il concetto che al centro del processo di programmazione c'è l'utente finale con i propri meccanismi percettivi (Carroll, 1997).

Il progetto sia dell'interfaccia grafica, che della sequenza di operazioni necessarie alla consultazione interattiva del "data warehouse" NIKER, sono stati sviluppati seguendo questo approccio, nei limiti imposti dalle soluzioni tecniche oggi disponibili.

La presentazione grafica di dati e processi, come già esposto in precedenza, è un elemento fondamentale per l'efficienza e l'usabilità di un programma informatico. L'esigenza fondamentale è quella di riuscire a presentare i maggior numero di informazioni in modo comprensibile, senza caricare eccessivamente il campo visivo dell'utilizzatore. Al tempo stesso, occorre che le relazioni tra gli oggetti siano facilmente intuibili e, in quest'ottica, la disposizione degli oggetti e le scelte cromatiche assumono un ruolo chiave.

L'approccio classico riferito allo schema logico di **Figura 143** è quello di costruire un sistema ad albero in cui la consultazione avviene a livelli sempre più profondi di dettaglio.

Questo tipo di presentazione rende la consultazione eccessivamente macchinosa in presenza di schemi relazionali complessi, risultando quindi impraticabile. L'esigenza di trovare un approccio operativo innovativo all'analisi dei processi di conoscenza integrata delle strutture storiche in zona sismica ha spinto a ricercare anche un nuovo tipo di espressione visiva.

Analizzando lo schema funzionale di **Figura 144** si possono definire due insiemi di oggetti e relazioni che rappresentano i punti chiave di tutta la struttura. Il primo insieme ha come elemento centrale l'intervento, e come elementi collegati le specifiche degli elementi costruttivi e i meccanismi di collasso, il tutto definito per ciascun elemento costruttivo, mentre il secondo ha come oggetto base la pubblicazione e come elementi correlati i quattro gruppi di valori dei parametri dell'elemento prima dell'intervento, dei parametri dei componenti, dei parametri dopo l'intervento e dei parametri del rinforzo. I due insiemi sono evidenziati con colori diversi nella **Figura 148**.

Il primo insieme trova la sua massima efficienza rappresentativa se consideriamo, per ciascun elemento costruttivo, uno spazio a tre dimensioni, in cui le specifiche dell'elemento, i meccanismi di collasso e gli interventi giacciono rispettivamente su ciascuno degli assi. Il piano principale, contenente le specifiche degli elementi e i meccanismi di collasso e discretizzato in celle di dimensione finita, rappresenta una tabella che permette di far corrispondere a ciascuna specifica un meccanismo e viceversa. Per ciascun incrocio viene definita una cella che, nella realtà, rappresenta una situazione reale di progetto.

In un caso reale può presentarsi la necessità di applicare più interventi; questo può essere rappresentato graficamente collocando ciascuno di essi lungo l'asse ortogonale alla cella che identifica il caso in oggetto, come descritto in **Figura 149**.

Il secondo insieme, invece, ha come elementi principali le tabelle dei valori e come elemento di legame la tabella delle pubblicazioni. Questo tipo di relazione è esclusivamente operativa e non necessita di particolari artifici grafici.

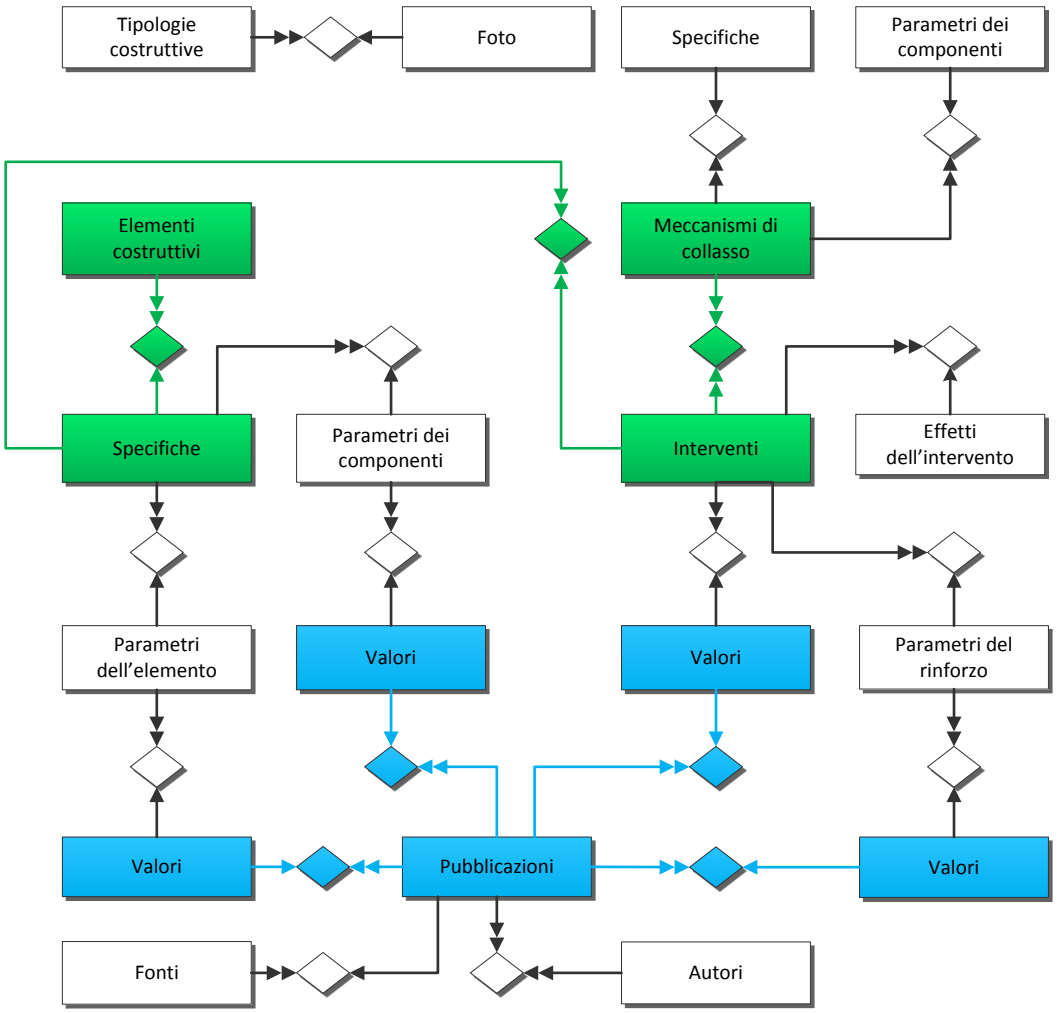


Figura 148: Insiemi chiave di oggetti e relazioni nella definizione del processo

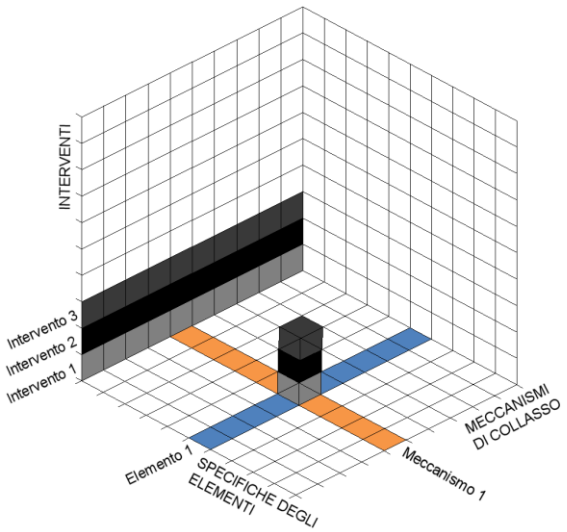


Figura 149: Schema logico rappresentativo dell'insieme specifica dell'elemento, meccanismo di collasso e intervento

La gestione tridimensionale di un insieme di dati risulta però problematica in relazione alle tecniche e alle tecnologie di rappresentazione grafica oggi disponibili, per cui si è cercato di adattare lo schema del primo insieme in uno spazio bidimensionale. Questo è stato possibile senza eccessivi stravolgimenti perché l'asse contenente gli interventi ha, nella dinamica del processo di progettazione, un livello gerarchico inferiore alle altre due. Le fasce di piano contenenti gli interventi sono così sostituiti da una lista.

La soluzione finale che è stata scelta è quindi uno schema tabellare in cui le righe sono rappresentate dalle specifiche degli elementi e le colonne dai meccanismi di rottura. All'interno di ciascuna cella indentificata dall'incrocio di una specifica con un meccanismo è presente l'elenco di tutti gli interventi compatibili con quella coppia di valori, secondo lo schema di **Figura 150**.

Sia nello schema tridimensionale che in quello bidimensionale si può notare un suddivisione cromatica degli assi e degli elementi. Questo contribuisce ad aumenta la fruibilità del sistema.

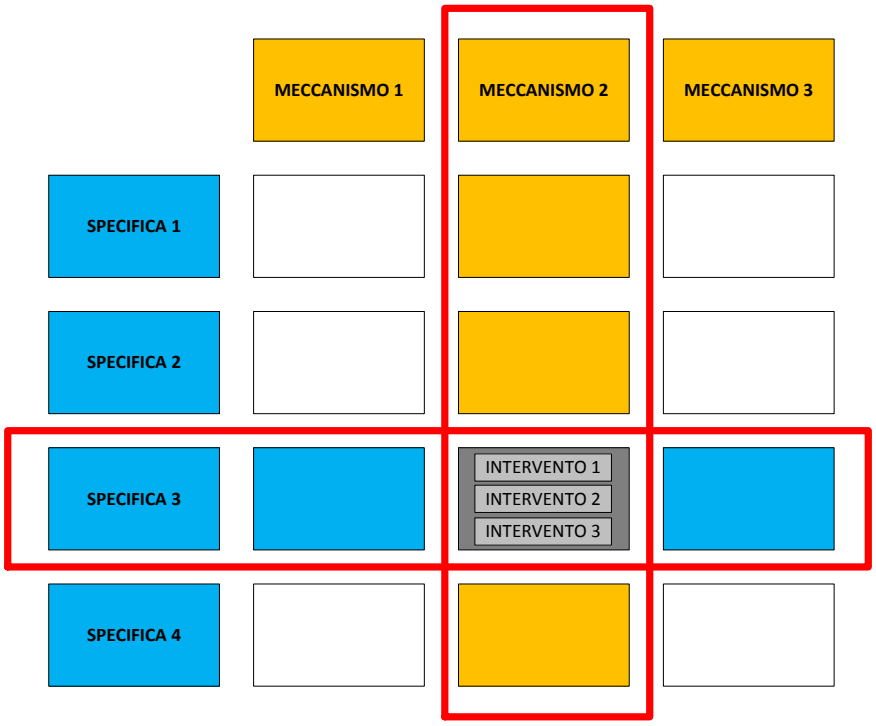


Figura 150: Schema grafico della relazione tra specifica dell'elemento, meccanismo di collasso e interventi correlati

L'impostazione grafica definitiva è riportata in **Figura 151** e nelle pagine seguenti vengono analizzate le singole parti.

Una particolare cura è stata data ai colori, attribuendo uno specifico colore a ciascun elemento e mantenendo il più possibile questa coerenza cromatica sia nell'applicativo che nella manualistica. Non è un caso dunque che anche in questa Tesi si siano usati gli stessi colori di riferimento.

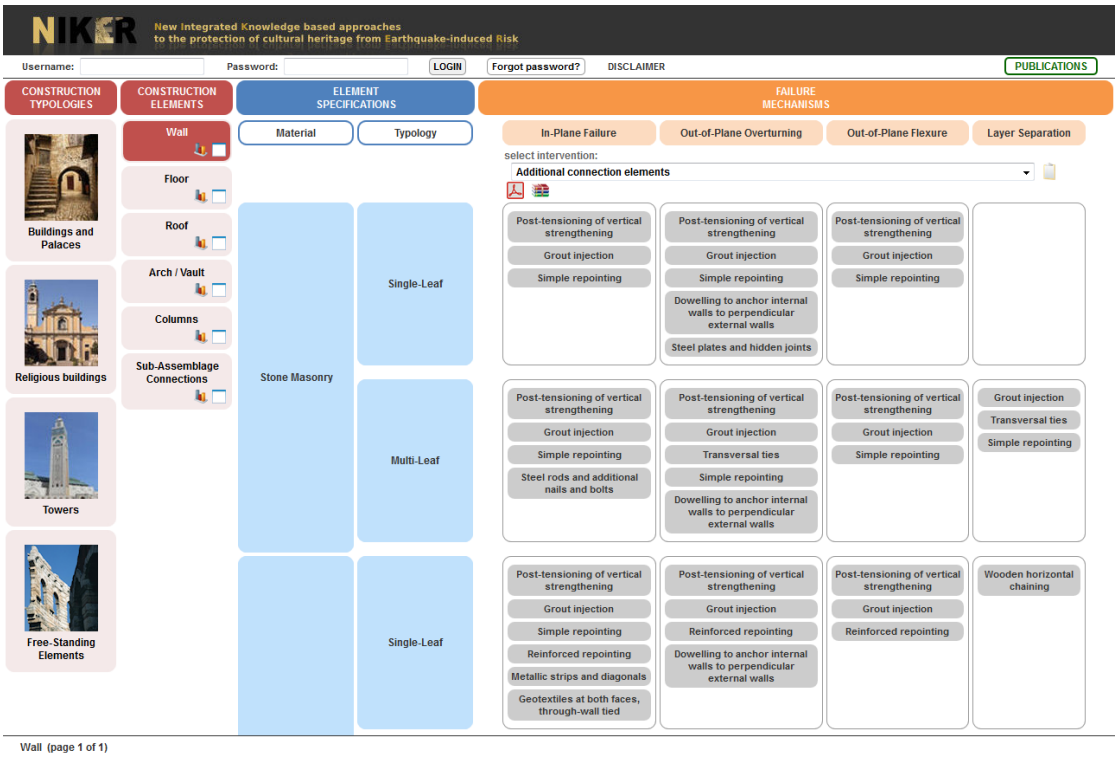


Figura 151: Impostazione grafica del sistema informatico

5.3.3.1 *Le tipologie costruttive*

Le tipologie costruttive costituiscono una sezione separata dal resto delle informazioni disponibili. Questo perché è stato valutato ridondante suddividere gli elementi costruttivi per ciascuna tipologia. Le problematiche costruttive e statiche di una muratura, infatti, sono le stesse sia che essa faccia parte di un palazzo, oppure di un edificio religioso o ancora di una torre.

La suddivisione tra le varie tipologie rappresenta comunque un dato rilevante per gli approcci applicativi e le peculiarità globali che ciascuna di esse presenta e costituisce una inquadratura generale dell'intero processo. È sorta quindi la necessaria esigenza di inserire questa informazione nel modo più appropriato nel sistema informatico. La colonna più a sinistra diventa, in quest'ottica, la posizione ideale, rispettando il ruolo generale e introduttivo che le tipologie rappresentano.

Per ciascuna tipologia sono riportate una descrizione generale in cui sono riportate le specifiche di appartenenza alla categoria, i suggerimenti applicativi per favorire l'approccio più corretto possibile alle problematiche di sistemazione di ciascuna di esse e alcune foto di esempio per una maggiore comprensione di ciò che è incluso in una data categoria. Tali elementi sono visualizzati al posto della griglia degli interventi, come evidenziato in **Figura 152**.

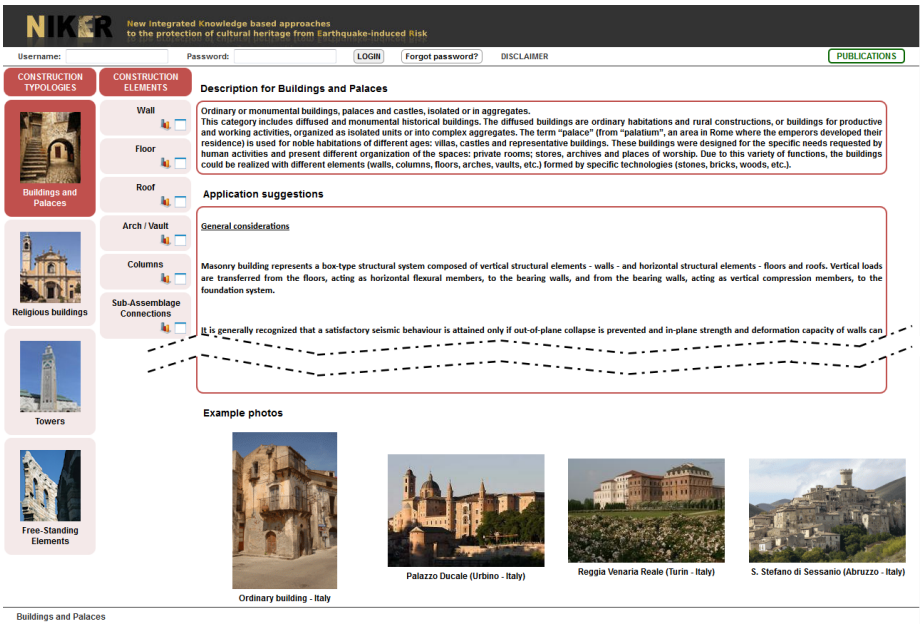


Figura 152: Rappresentazione delle tipologie costruttive

5.3.3.2 *Gli elementi costruttivi, i materiali e le loro tipologie*

La seconda colonna è occupata dalla lista degli elementi costruttivi, rispettando la suddivisione statico funzionale descritta nel paragrafo 1.2.

Le specifiche di ciascun elemento costruttivo sono suddivise nella definizione del materiale e nelle tipologie di elementi tipiche di ciascun materiale. La struttura in questo caso è ad albero a colonne affiancate, con i materiali e le loro topologie che occupano rispettivamente la terza e la quarta colonna. Si è scelto di mantenere una differenziazione cromatica tra gli elementi e le loro specifiche per rispettare il ruolo di descrittore generale dell'elemento, gerarchicamente precedente alle specifiche (**Figura 153**).

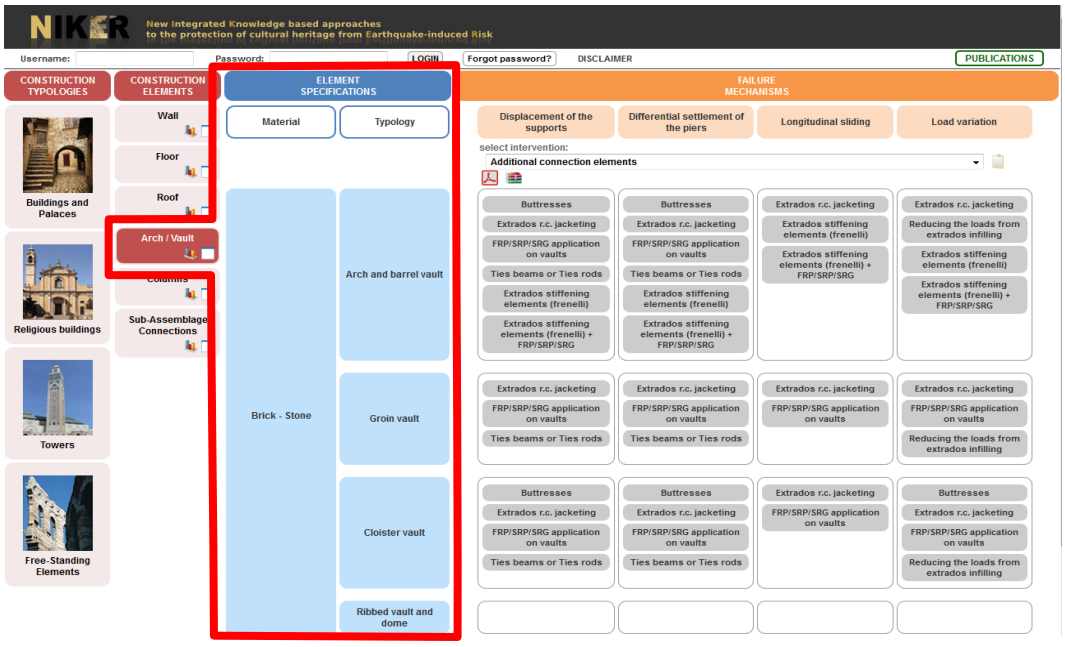


Figura 153: Rappresentazione di elementi costruttivi, materiali e loro tipologie

5.3.3.3 *I parametri pre-intervento*

Ciascuna tipologia di materiale è caratterizzata dai parametri del materiale ed eventualmente dei suoi componenti. Per poter visualizzare la lista di parametri senza alterare la struttura tabellare e non perturbare troppo l'attenzione dell'utilizzatore, si è scelto di far comparire una riga aggiuntiva con i dati richiesti, come evidenziato in **Figura 154**.

Un'altra esigenza specifica, che è stata giudicata necessaria per garantire una miglior comprensione visiva del sistema, è quella di evitare eccessivi livelli di profondità di consultazione. Per soddisfare questa richiesta, la maggior parte delle informazioni vengono dunque visualizzate nella pagina principale. Finestre aggiuntive sono utilizzate solo per i dettagli, tra i quali i valori dei parametri (**Figura 155**) e la distribuzione grafica degli stessi per ciascuna tipologia di materiale, sia prima che dopo un intervento (**Figura 156**).

Si può notare come ogni valore sia legato ad una specifica pubblicazione e come, per ciascuno di essi, venga fornita una descrizione che aiuti la valutazione del contesto entro il quale il valore è stato ricavato.

La descrizione legata a ciascun valore di un dato parametro è estremamente importante perché consente di valutarne l'affidabilità applicativa in altri contesti.

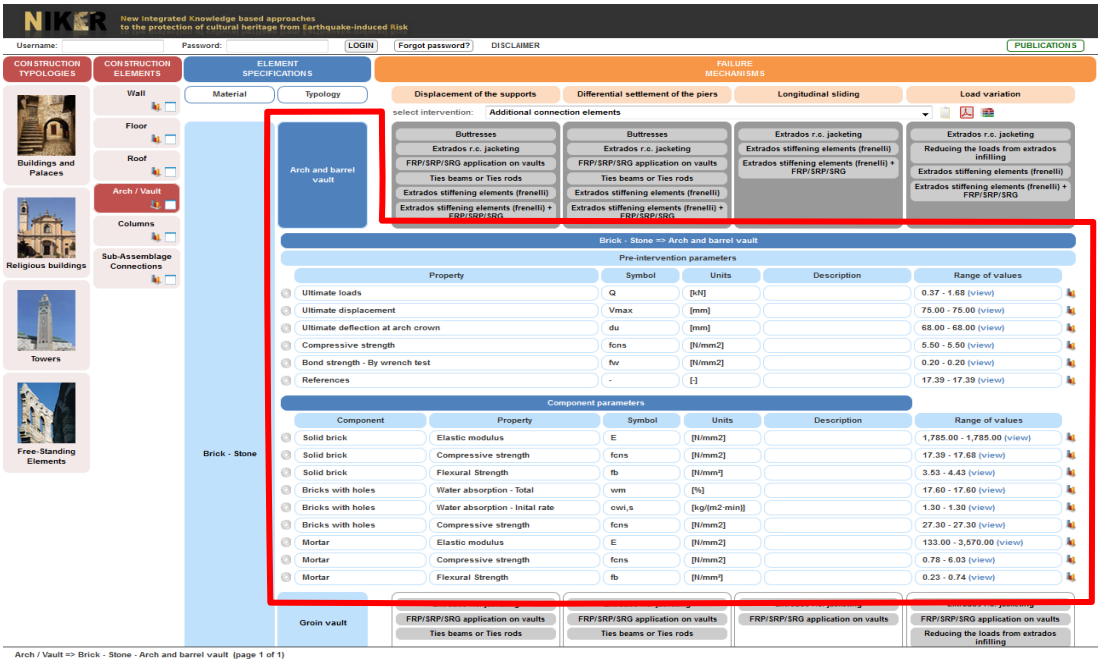


Figura 154: Rappresentazione dei parametri pre-intervento

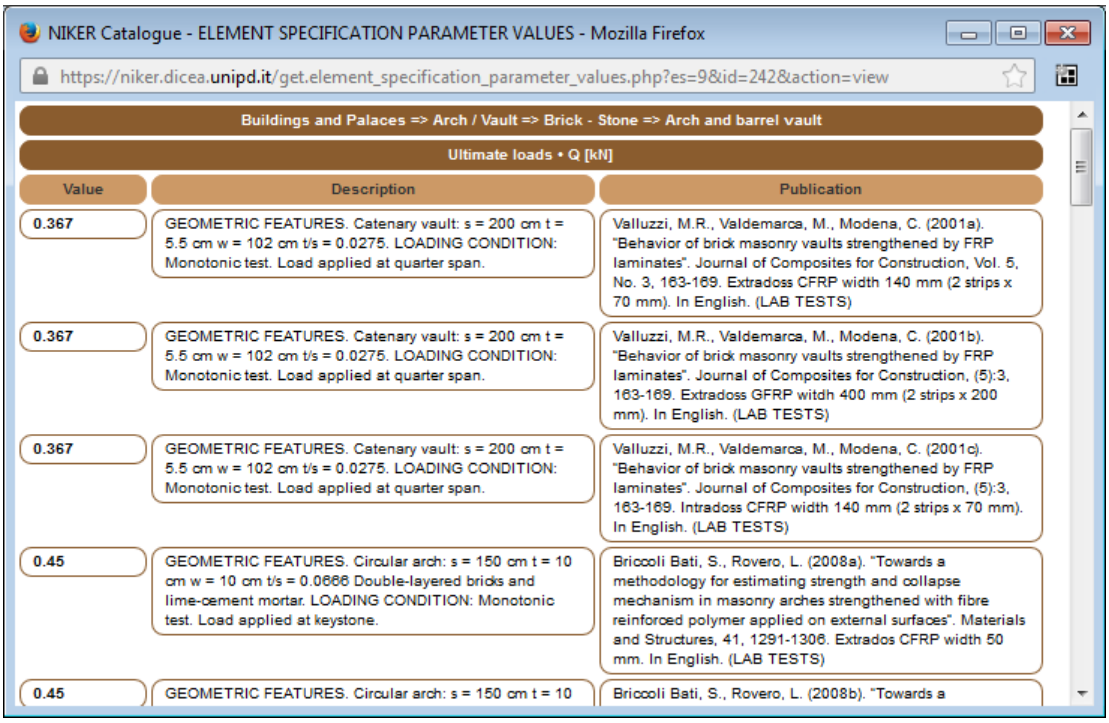


Figura 155: Finestra con i valori pre-intervento di un parametro

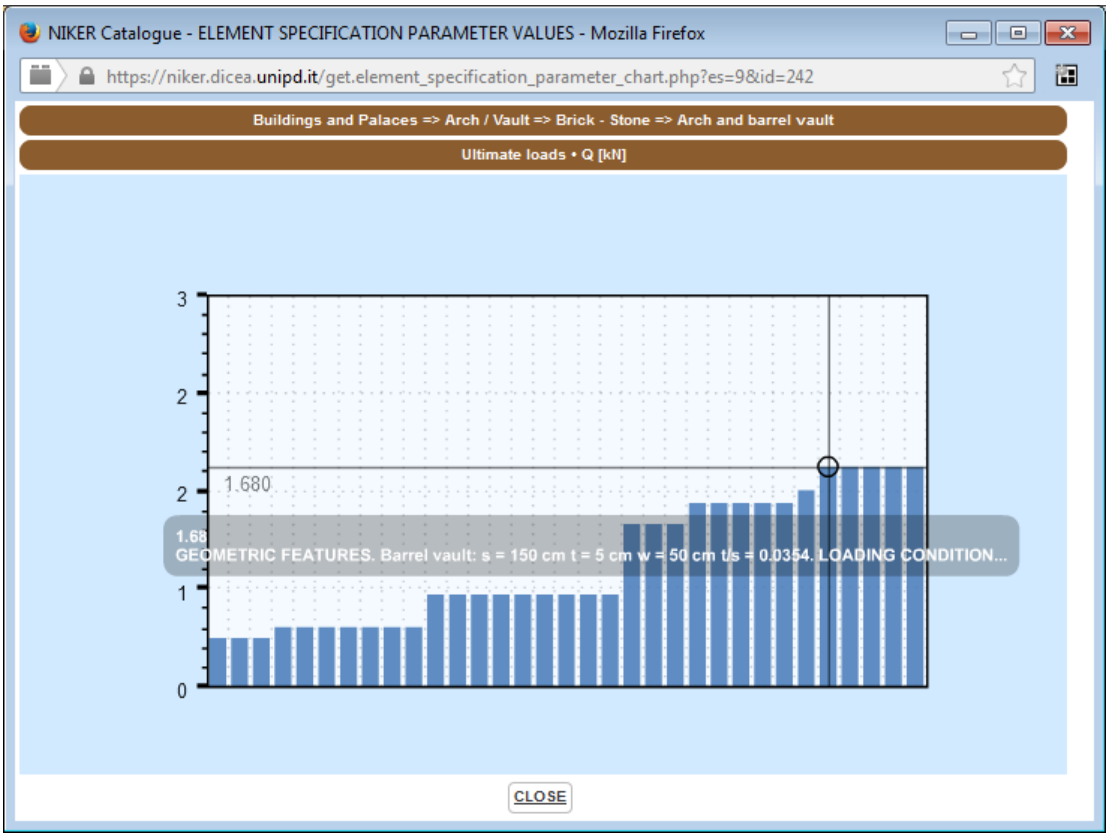


Figura 156: Finestra con la distribuzione dei valori pre-intervento di un parametro

5.3.3.4 *I meccanismi di collasso*

I meccanismi di collasso sono disposti in orizzontale per rispettare la disposizione tabellare descritta in precedenza e hanno un colore diverso dagli altri elementi.

Le caratteristiche di ciascun meccanismo vengono riassunte in fondo alla tabella come riportato in **Figura 157**. In particolare è possibile aggiungere uno schema rappresentativo del meccanismo e specificare quali indicatori di rendimento, sia misurabili che descrittivi, sono mobilitati dal meccanismo stesso.

Nel caso in cui il numero dei meccanismi di collasso legati ad un particolare elemento costruttivo sia elevato e ne impedisca una visualizzazione completa all'interno della schermata, la tabella ha la proprietà di scorrere in orizzontale occupando il medesimo spazio visivo.

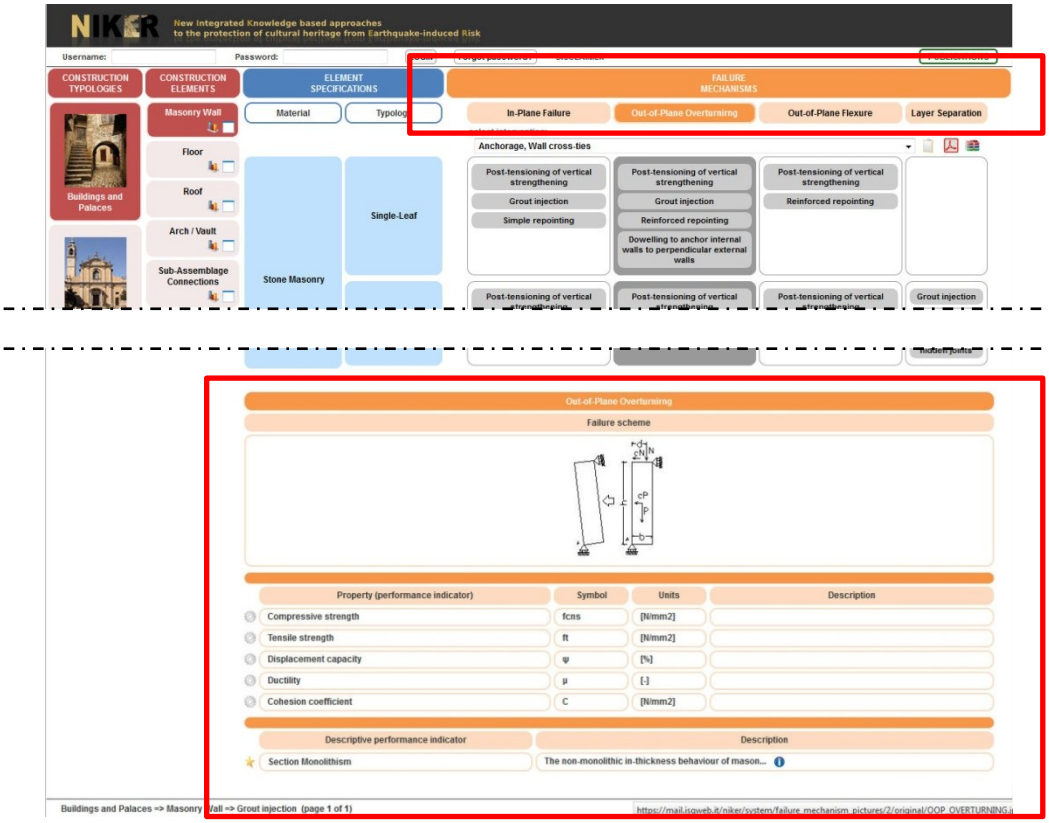


Figura 157: Rappresentazione dei meccanismi di collasso e loro caratteristiche

5.3.3.5 *Gli interventi*

L'individuazione degli interventi adatti a ciascuna combinazione elemento-meccanismo rappresentano uno dei risultati rilevanti del lavoro. Per questo motivo occupano la parte principale e più estesa della tabella espositiva (**Figura 158**).

Un dato intervento può essere associato a più combinazioni ed in questo caso quello cambia sono i valori dei parametri su cui l'intervento agisce in ciascuna specifica combinazione. Anche in questo caso, la visualizzazione dell'effetto dell'intervento è stata risolta con l'inserimento di una riga aggiuntiva in cui sono elencati i parametri della tipologia di materiale post-intervento, i parametri degli eventuali rinforzi aggiunti e una descrizione degli effetti dell'intervento sul meccanismo coinvolto. Per completezza sono riportati anche gli indicatori descrittivi di rendimento mutuati dal meccanismo (**Figura 159**).

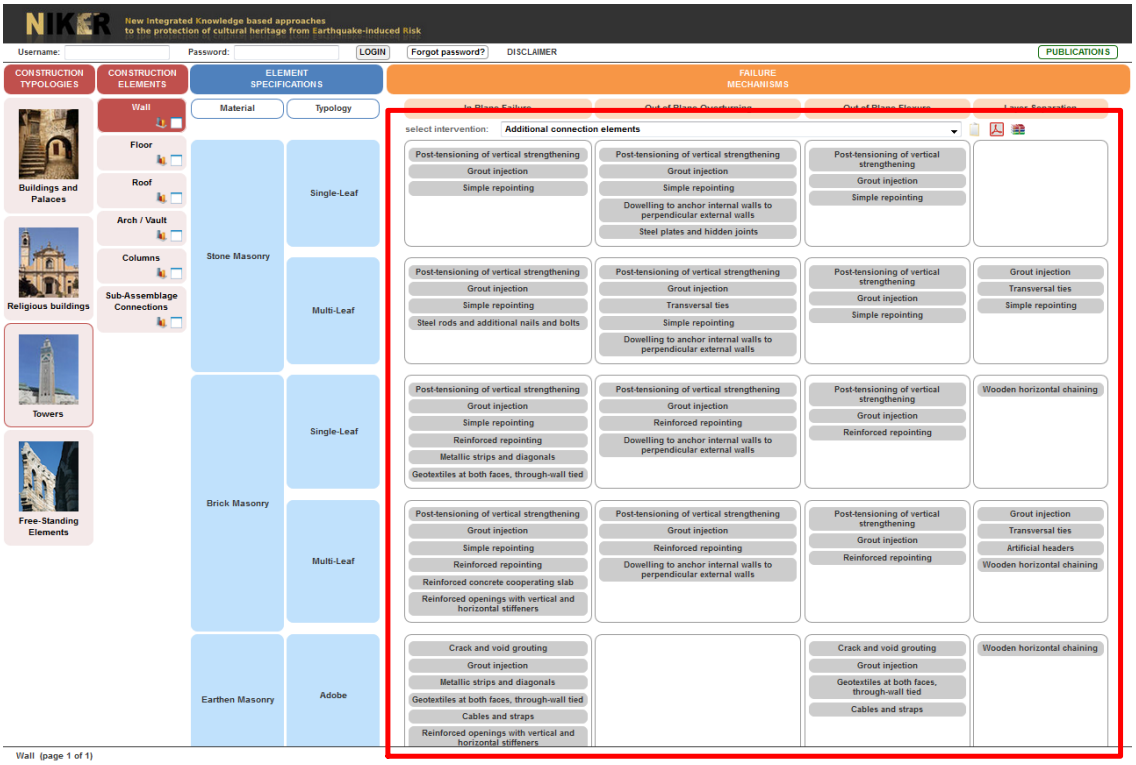


Figura 158: Rappresentazione degli interventi correlati agli elementi costruttivi e ai meccanismi di collasso

La visualizzazione dei valori legati ai parametri misurabili e la loro distribuzione grafica sono analoghe a quelle relative ai parametri pre-intervento, con apposite finestre che appaiono all'occorrenza.

Per completezza è stato anche aggiunto un effetto visivo con il fine di individuare con maggiore chiarezza gli elementi coinvolti in una data combinazione di oggetti. Guardando con attenzione la **Figura 159** si può notare come tutte le celle corrispondenti alla riga e alla colonna, rispettivamente della tipologia di materiale e del meccanismo di collasso selezionati, sono evidenziate in grigio.

La visualizzazione delle specifiche di un particolare intervento, infine, è realizzata in una finestra separata (**Figura 160**).

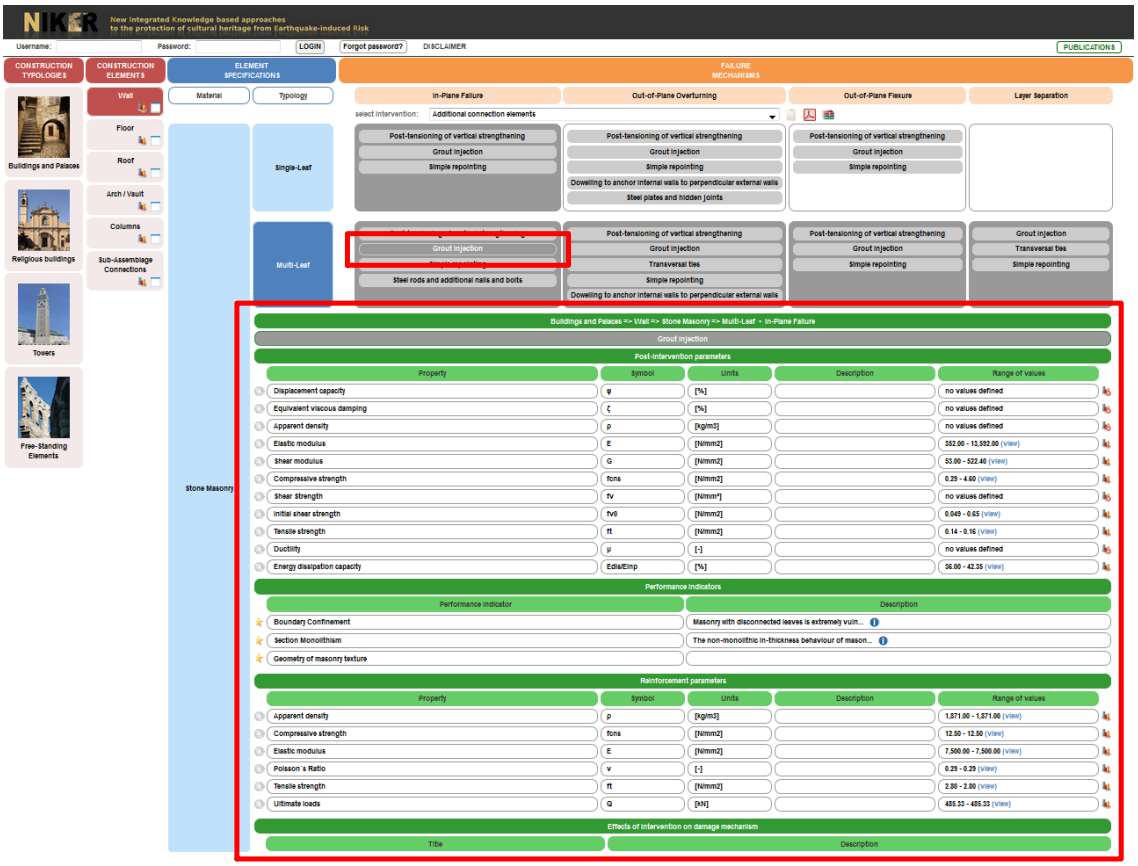


Figura 159: Rappresentazione degli parametri e degli indicatori connessi a un intervento

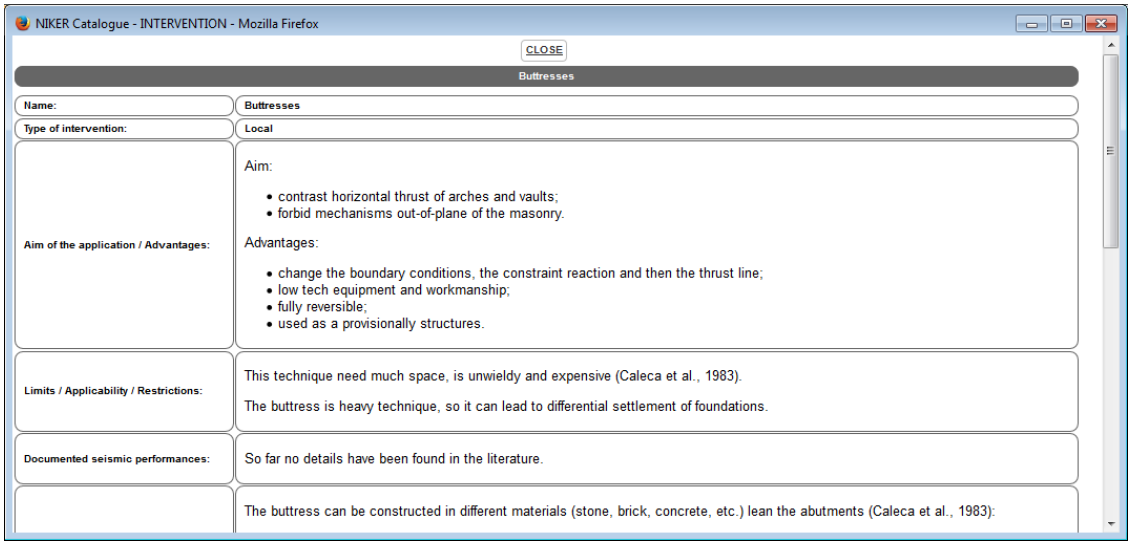


Figura 160: Rappresentazione delle specifiche di un intervento

5.3.3.6 *Le pubblicazioni*

L'ultimo degli elementi significativi è costituito dalle pubblicazioni, che si è scelto di visualizzare in una finestra separata. Il motivo di tale scelta è che la gestione delle pubblicazioni deve essere fatta antecedentemente rispetto alla catalogazione dei valori dei parametri. La visualizzazione dei dettagli di ciascuna pubblicazione avviene anch'essa in una finestra separata (**Figura 161**).

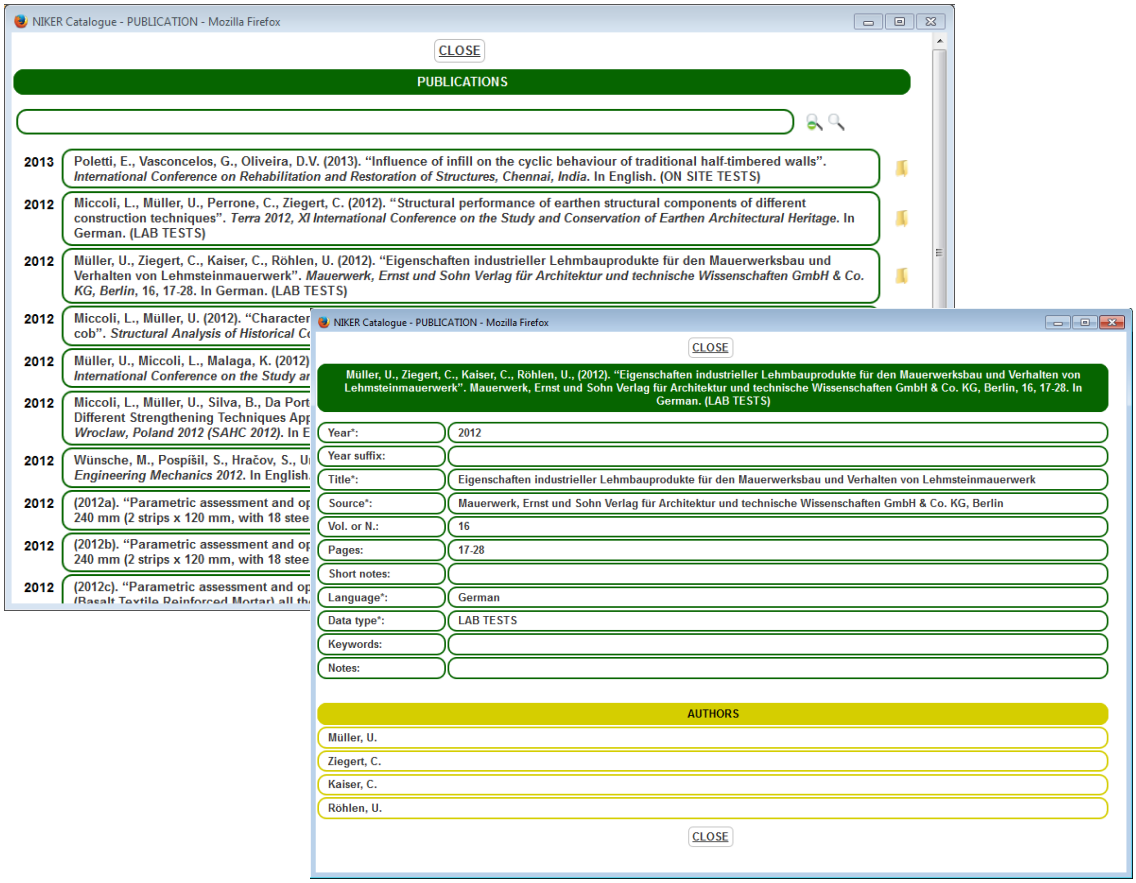


Figura 161: Rappresentazione delle pubblicazioni

5.3.4 La gestione degli utenti

Tutte le informazioni contenute nel "data warehouse" sono di pubblico accesso; questa scelta deriva dall'intenzione di massimizzare la diffusione della conoscenza. Come accennato in precedenza, però, l'utilità operativa di questo strumento è strettamente connessa alla preparazione tecnica di chi ne fa uso. L'utente non esperto può utilizzare questo strumento a scopo di studio o anche per pura curiosità, ma deve essere consapevole che un uso improprio delle informazioni può arrecare più danno che beneficio. Per questa ragione all'apertura del programma è obbligatoriamente mostrato un avviso in cui si specifica il corretto ambito di utilizzo del sistema.

La gestione del singolo dato e la sua elaborazione è invece riservata ad utenti autorizzati, che sono suddivisi in tre livelli gerarchici. Il livello più alto è riservato esclusivamente alla supervisione del sistema, mentre gli altri due sono i reali livelli operativi; ciascun utente di questi due livelli è poi associato ad una determinata istituzione.

L'esigenza organizzativa che ha richiesto questa struttura gerarchica è quella di poter assegnare il lavoro di immissione e gestione dei dati a gruppi distinti. All'interno di ciascun gruppo, identificato con l'istituzione, l'utente con il ruolo più basso ha la possibilità di agire unicamente sui dati di propria competenza, mentre un amministratore ha il permesso di agire sui dati di tutto il gruppo. La gestione degli utenti è riservata al gestore del sistema.

Gli attributi usati per la gestione dei permessi e definiti in ciascuna tabella sono:

- created_by
- created_at
- updated_by
- updated_at

Due di essi, ovvero created_by e updated_by, sono chiavi esterne, entrambe associate alla chiave primaria della tabella degli utenti (users) e servono per identificare chi sia il proprietario dell'oggetto e l'autore dell'ultima modifica; gli altri due attributi servono ad identificare quando le operazioni di creazione e ultima modifica sono state fatte.

5.3.5 I linguaggi e le tecniche di programmazione

Per soddisfare l'esigenza di massimizzare la condivisione della conoscenza si è scelto di sviluppare il sistema con tecnologia web, con il supporto dell'esperienza acquisita nello sviluppo del "data warehouse" Rilem citato nel paragrafo 5.1.4 (Giacometti et al., 2012) e di altri sistemi di gestione basati sulla medesima tecnologia.

Dopo un'accurata valutazione dei sistemi di gestione di banche dati e dei linguaggi a disposizione sia dal punto di vista tecnico, sia in relazione ad una compatibilità futura sufficientemente prevedibile nel breve termine che possa dare garanzie sulla vita utile del sistema senza modifiche strutturali rilevanti, si è scelto di utilizzare il motore di gestione dei dati (DBMS, "Data Base Management System") MySQL e i linguaggi PHP ("PHP: Hypertext Preprocessor") e JavaScript.

MySQL è stato usato per implementare la parte strutturale e, parzialmente, la parte di integrità del modello relazionale.

Il linguaggio PHP è stato usato sia per la parte manipolativa che, parzialmente, per la parte di integrità del modello relazionale, nonché per la presentazione delle informazioni attraverso la generazione dinamica delle pagine web e dei grafici.

La programmazione in PHP è stata interamente basata sulla tecnica a oggetti (Cox, 1986).

Per la gestione interattiva delle pagine web è stata usata la tecnica di sviluppo software AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), che ha permesso anche la gestione delle uscite grafiche prevalentemente in un'unica pagina. Questa tecnica si avvale di un insieme di tecnologie che agiscono in modo coordinato per ottimizzare il trasferimento di dati tra il server e il client web (Garrett, 2005).

Per la programmazione in JavaScript è stata utilizzata in larga misura la libreria di funzioni a oggetti "jQuery" [Sito 35].

La generazione automatica dei grafici è stata implementata utilizzando l'applicativo "XML/SWF Charts" [Sito 36] sviluppato in Flash. Per interfacciare il modello relazionale con questo applicativo è stata creata una nuova specifica classe in PHP che genera in linguaggio XML (eXtensible Markup Language) gli insiemi opportuni di dati richiesti dall'applicativo. L'utilizzo di Flash è stato limitato alla sola creazione dei grafici interattivi visto il futuro incerto di questa tecnologia.

Tutti i linguaggi e le librerie adoperate per lo sviluppo del "data warehouse" hanno licenze che ne consentono l'utilizzo gratuito.

5.4 *IL CATALOGO DELLE PUBBLICAZIONI: UNO STRUMENTO DI VERIFICA E CORRELAZIONE DEI DATI INSERITI*

Le informazioni inserite nel "data warehouse" devono avere un riscontro scientifico documentato che ne garantisca l'affidabilità; per questa ragione è stato creato un catalogo di pubblicazioni, il cui contenuto è riportato nell'Allegato 6.

A ciascun valore numerico è associata, in fase di inserimento, una pubblicazione, come illustrato in **Figura 162**.

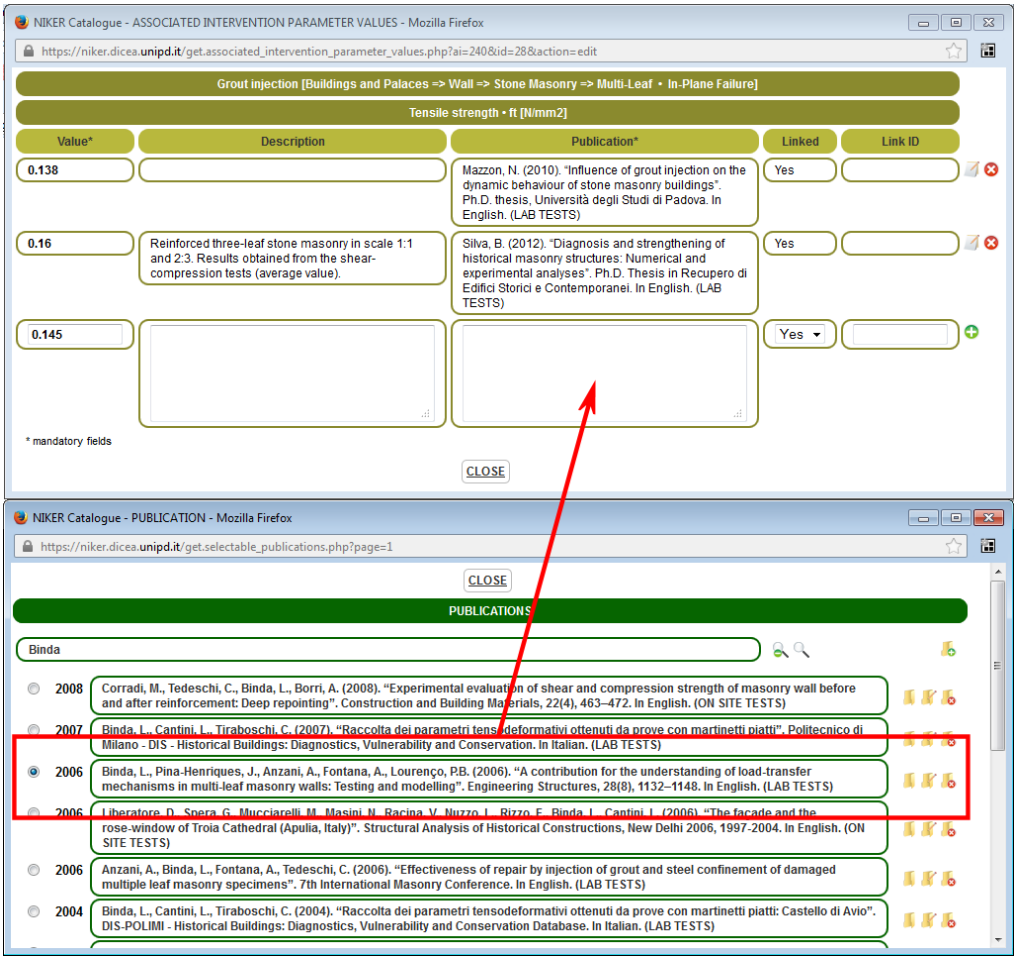


Figura 162: Associazione di una pubblicazione al valore del parametro

Questa associazione, se da un lato si rivela molto importante perché consenta la rintracciabilità del dato, dall'altro assume un'importanza strategica nei meccanismi automatici di analisi del "data warehouse".

Come descritto del paragrafo 5.5, un punto molto delicato in fase di analisi è la scelta di quali valori dei parametri siano effettivamente correlati tra loro e quali no. Uno degli obiettivi del "data warehouse" è quello di poter fornire delle indicazioni ragionevoli in modo automatico; per ottenere questo risultato sono stati predisposti dei filtri di selezione dei valori inseriti in fase di generazione dei grafici automatici.

Una delle discriminanti scelte per correlare due valori tra loro è se questi appartengono alla medesima pubblicazione. Dal punto di vista del modello relazionale, il sistema confronta la chiave esterna "publication_id" di due tuple estratte delle tabelle dei valori e considera la correlazione positiva solo se i valori delle chiavi esterne corrispondono.

Da un punto di vista pratico, però, questa discriminante da sola potrebbe non essere sufficiente. A volte in una stessa pubblicazione, infatti, sono riportati dati riferiti a campagne differenti e non relazionabili tra loro.

Per risolvere questo problema è stato aggiunto un attributo alla tabella delle pubblicazioni ("year_suffix"), che permetta di inserire più volte la pubblicazione nel sistema; l'idea è quella di suddividere la pubblicazioni in più parti, ciascuna delle quali contiene i gruppi di dati in relazione tra loro. Un inconveniente introdotto da questa soluzione è quello di avere una pubblicazione ripetuta più volte nel catalogo, con un aumento apparente del numero di pubblicazioni recensite; questo è stata giudicato accettabile sia perché è comunque possibile generare una lista senza duplicati, sia, soprattutto, perché questo approccio è sembrato il più opportuno per rendere la correlazione tra i dati più elastica possibile.

Uno degli attributi obbligatori della tabella pubblicazioni ("data_type") definisce se i dati contenuti nella pubblicazione derivano da prove sperimentali o da indagini in situ. Il valore di questo attributo viene trasferito dal sistema a tutti i dati associati alla pubblicazione e rappresenta un'ulteriore discriminante per la correlazione tra i valori dei parametri.

Lo schema di **Figura 163** descrive la modalità di correlazione tra i valori pre e post intervento di uno stesso parametro per mezzo delle pubblicazioni. Nella **Figura 164**, invece, il confronto è tra due parametri differenti nella medesima condizione di post intervento. Si può notare come le correlazioni tra i parametri siano determinate esclusivamente dall'appartenenza alle pubblicazioni.

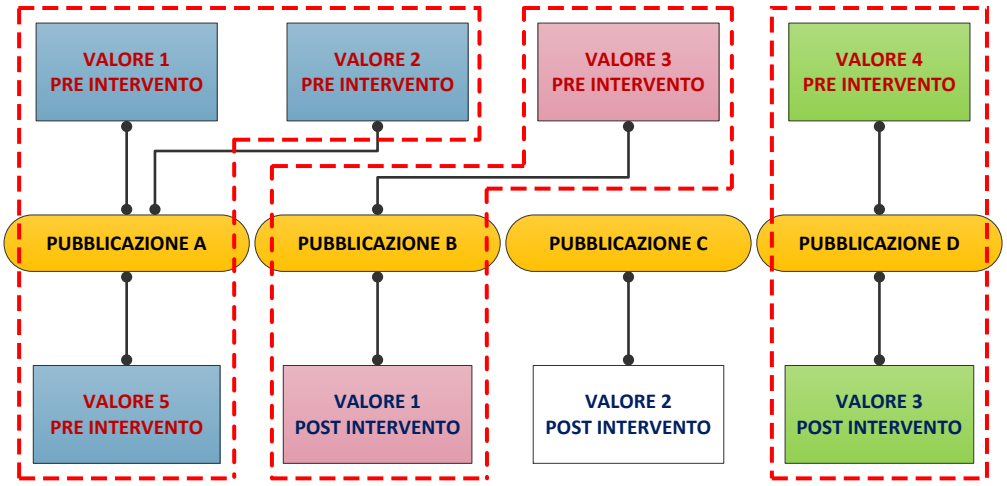


Figura 163: Modalità di correlazione tra i valori pre e post intervento di uno stesso parametro per mezzo delle pubblicazioni

I valori pre intervento 1, 2 e 5 sono correlati tra loro dal momento che appartengono tutti alla medesima pubblicazione A; il valore pre intervento 3 e il valore post intervento 1 sono correlati dall'appartenenza alla pubblicazione B; il valore post intervento 2 non ha correlazioni; il valore pre intervento 4 e il valore post intervento 3 sono correlati dall'appartenenza alla pubblicazione D.

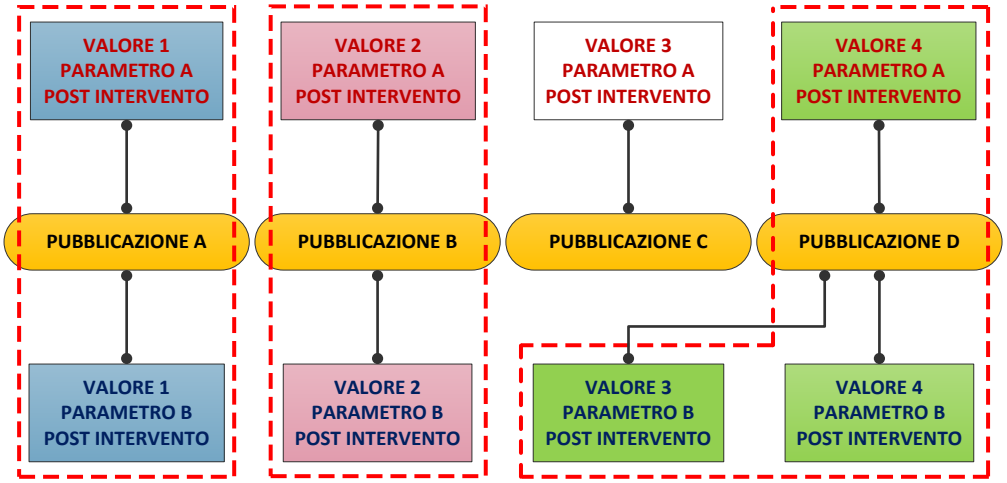


Figura 164: Modalità di correlazione tra due parametri differenti nella medesima condizione di post intervento per mezzo delle pubblicazioni

I valori 1 del parametro A è correlato al valore 1 del parametro B dal momento che appartengono entrambi alla medesima pubblicazione A; il valore 2 del parametro A è correlato al valore 2 e il valore del parametro B dall'appartenenza alla pubblicazione B; il valore 3 del parametro A non ha correlazioni; il valore 4 del parametro A è correlato ai valori 3 e 4 del parametro B dall'appartenenza alla pubblicazione D.

5.5 *LE FUNZIONALITÀ DI GESTIONE, CONTROLLO E ANALISI DEI DATI*

Le funzionalità a disposizione di un utente autorizzato si dividono in tre categorie: gestione, controllo e analisi.

Le funzioni relative alla gestione riguardano la manipolazione (creazione, modifica ed eliminazione) e l'esportazione dei dati inseriti. L'interfaccia del sistema informatico per un utente autorizzato mantiene inalterata la struttura, ma si arricchisce con l'aggiunta degli elementi grafici di gestione. Si è cercato di utilizzare immagini diverse per la manipolazione di oggetti diversi rispettando l'idea della distinzione grafica dei gruppi di oggetti.

Gli elementi comuni a tutte le immagini relative alle funzioni di manipolazione sono tre e sono riassunti nella Tabella 29.

Tabella 29: Dettagli comuni a tutti gli elementi grafici di gestione

	per cancellare un elemento o una associazione
	per aggiungere un elemento o una associazione
	per modificare un elemento

Le funzioni di esportazione dei dati consentono di generare sia documenti in formato PDF (Portable Document Format), sia liste di correlazione, a loro volta esportabili in PDF, oppure grafici interattivi riassuntivi esportabili come immagini in formato JPEG (Joint Photographic Expert Group). Gli elementi grafici a cui sono legate queste funzioni sono riassunti in Tabella 30.

Tabella 30: Elementi grafici per l'esportazione dei dati

	per esportare in formato PDF
	per generare una lista esportabile a sua volta in formato PDF
	per generare un grafico interattivo esportabile come immagine JPEG

Per il controllo sulla quantità di dati inseriti, che consenta un'analisi a colpo d'occhio su eventuali carenze informative e suggerisca un approfondimento di indagine su specifici campi applicativi, sono state utilizzati tre simboli il cui significato è riassunto in Tabella 31. Si rimanda al paragrafo 6.2.1 per maggiori dettagli su questa funzionalità.

Tabella 31: Elementi grafici per il controllo sulla quantità di dati inseriti

	Indica che non è stato definito alcun parametro pre intervento
	Indica che è stato definito almeno un parametro pre intervento, ma non è presente alcun valore numerico
	Indica che è stato definito almeno un parametro pre intervento ed è presente almeno un valore numerico
	Indica che non è stato definito alcun parametro post intervento
	Indica che è stato definito almeno un parametro post intervento, ma non è presente alcun valore numerico
	Indica che è stato definito almeno un parametro post intervento ed è presente almeno un valore numerico

La **Figura 165** mostra l'interfaccia grafica per un utente autorizzato in cui è possibile notare gli elementi grafici per la manipolazione e l'esportazione dei dati appena descritti.

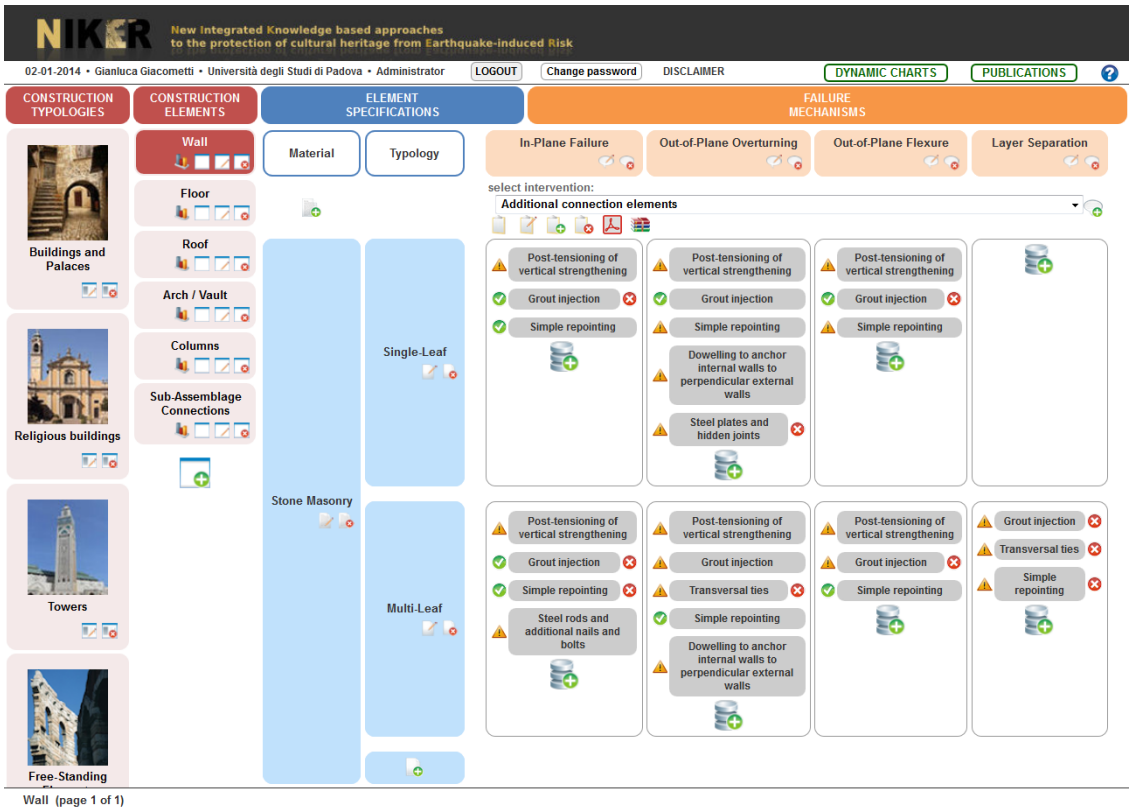


Figura 165: Interfaccia grafica per un utente autorizzato con gli elementi grafici per la manipolazione e l'esportazione dei dati

Come è stato espresso in precedenza, la funzione di correlazione tra le tipologie di materiale, i meccanismi di collasso e gli interventi sono state risolte dalla innovativa soluzione grafica adottata.

Per quanto riguarda le correlazioni tra i valori dei parametri misurabili, invece, è stata sviluppata una procedura per la generazione dinamica di grafici.

Tale procedura consente di mettere in relazione un parametro o una combinazione assegnata di due parametri con un altro o un'altra combinazione analoga. Lo strumento si presenta dunque estremamente potente e versatile, ma al tempo stesso estremamente rischioso. Si è scelto di porre il numero minimo di limitazioni possibili nella scelta delle possibili correlazioni tenendo conto del fatto che gli utilizzatori sono, necessariamente perché autenticati, esperti in grado di valutare opportunamente quali parametri usare e con quali relazioni.

Al tempo stesso, comunque, la mancanza di limitazioni offre quell'elasticità necessaria allo strumento per soddisfare anche lo scopo prefissato di supporto alla ricerca. In quest'ottica, il sistema è predisposto per ulteriori combinazioni tra i parametri, che possono essere implementate a richiesta in futuro.

La scelta sulla tipologia di dato da inserire e di come correlare tra loro i valori non è stata immediata. Il punto chiave della discussione è stato se dare più affidabilità all'esperto incaricato di inserire i dati, oppure alla capacità di analisi del sistema.

Tra le due opzioni possibili, infatti, c'era la possibilità di inserire tutti i valori riportati in una pubblicazione concentrando gli sforzi maggiori nella realizzazione delle procedure di analisi, oppure se inserire solamente dati significativi in qualche modo già filtrati, delegando al sistema soltanto funzioni di correlazione, ma non di decisione. Si è scelto di affidare il potere decisionale sulla scelta dei dati significativi alle capacità di esseri umani esperti, perché si è valutato che il numero di variabili in gioco è troppo elevato e la complessità relazionale tra esse un processo troppo delicato per poter essere schematizzati da un algoritmo numerico. Questo ha sicuramente reso più delicata ed importante la fase di selezione dei dati, ma li ha resi più affidabili.

La pagina di selezione dei parametri per la generazione dei grafici dinamici (**Figura 166**) consente di selezionare un numero illimitato di serie da riprodurre e il tipo di grafico da generare. I grafici a oggi disponibili sono:

- punti sparsi
- punti
- linee
- barre
- aree

Il grafico a punti sparsi è l'unico in cui gli elementi dell'asse delle ascisse possono essere posizionati a passo variabile in funzione del loro valore, facendone l'unica tipologia adatta al confronto tra parametri differenti. Tutti gli altri grafici sono di tipo distributivo con asse delle ascisse a passo fisso.

Ciascuna serie può essere costituita anche da una combinazione tra due parametri. Considerati X e Y due generici parametri, le combinazioni a oggi previste sono:

- $X \cdot Y$
- X / Y
- $X + Y$
- $X - Y$
- $X + 1/Y$
- $X – 1/Y$

Il sistema è in grado di generare combinazioni diverse tra i parametri, ma non conosce quali sono le combinazioni congruenti tra i valori disponibili. Ciascun parametro può essere stato misurato, anche per uno stesso materiale, in situazioni o in condizioni molto diverse e assumere per questo valori anche di ordine di grandezza diversi. Questa informazione non è intrinsecamente definita nel valore, ma deve essere definita a priori.

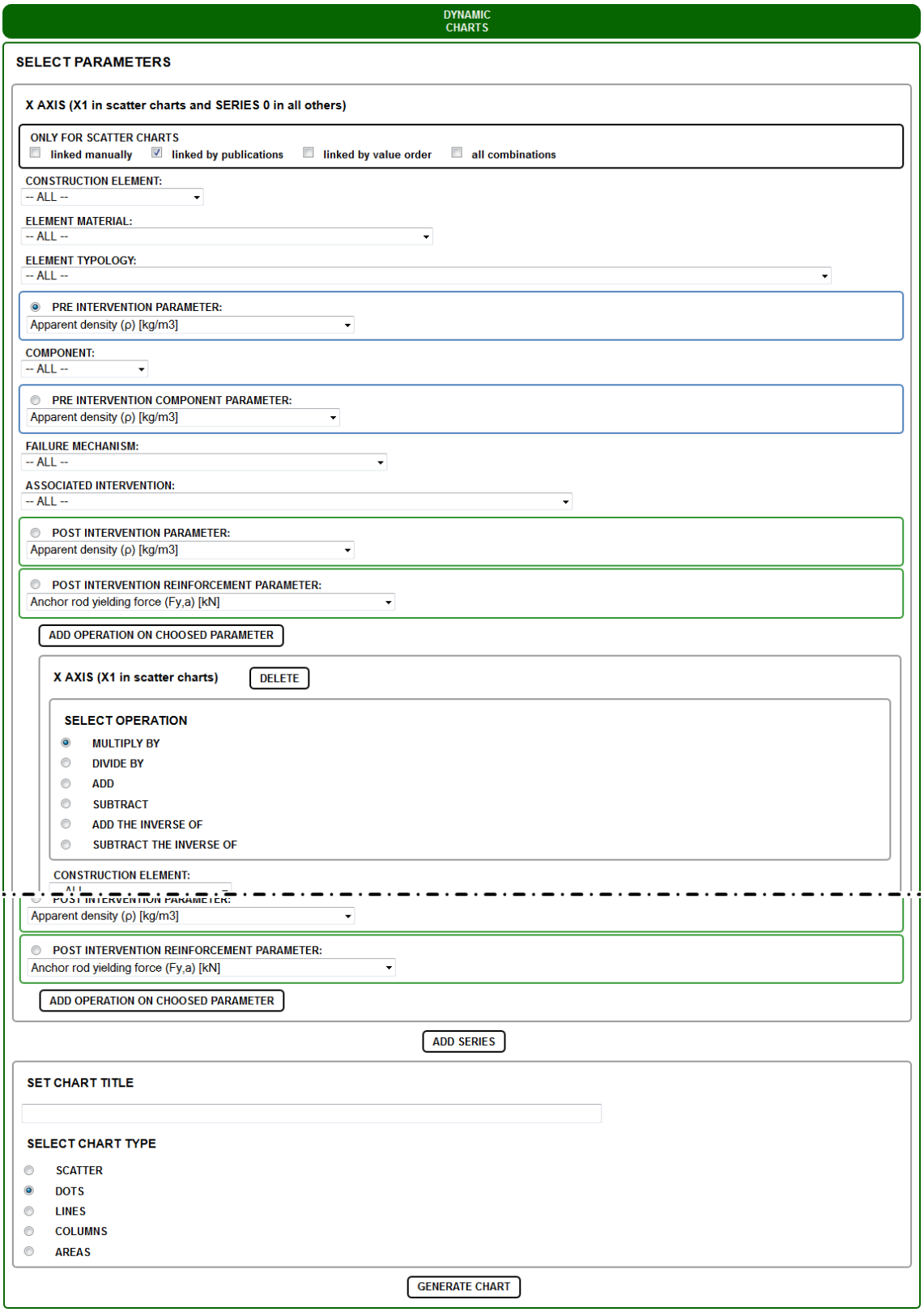


Figura 166: Pagina di selezione dei parametri dei grafici dinamici

La scelta di quali valori sia opportuno considerare affinché un confronto abbia un significato scientificamente accettabile è il punto più delicato nella fase di generazione dei grafici.

Sono stati individuati due metodi per identificare quali valori possano essere confrontati tra loro, entrambi intrinsecamente definiti in fase di compilazione di ogni singolo dato. Oltre al valore del parametro, infatti, ciascun elemento della tabella dei valori contiene anche quattro campi molto importanti: una descrizione delle condizioni in cui il valore è stato ricavato, la pubblicazione di riferimento, un campo che identifica se il valore può essere inserito nei grafici e un identificativo per il collegamento manuale con altri valori. Se la descrizione rappresenta il dato significativo per un progettista alla ricerca di informazioni per una nuova applicazione, gli altri tre sono utilizzati come discriminanti nella generazione dei grafici dinamici.

Il primo metodo, legato alla pubblicazione, è stato descritto in dettaglio nel paragrafo 5.4: il sistema seleziona solo i dati che hanno l'indice della pubblicazione di riferimento uguale; nel caso in cui una pubblicazione riporti gruppi di valori non correlati tra loro è necessario creare pubblicazioni diverse ed è prevista, nella tabella delle pubblicazioni, una apposito campo discriminante per questo scopo.

Il secondo metodo è in relazione all'identificativo di collegamento dell'elemento ("Link ID"); il sistema seleziona tutti i valori con indice uguale. Questo metodo si usa quando si vuole correlare valori provenienti da pubblicazioni e contesti differenti e viene definito "collegamento manuale".

Il terzo campo discriminante ("Linked") determina invece se un determinato valore deve essere inserito o meno nei grafici, indipendentemente dal metodo scelto. Questo è importante nel caso in cui un elemento ha provenienza dubbia o viene giudicato incoerente e non confrontabile con gli altri valori e deve essere escluso. In ogni caso, comunque, è il compilatore esperto che sceglie cosa è confrontabile sulla base della propria esperienza, garantendo l'affidabilità del sistema.

Riassumendo, in fase di analisi possono quindi essere messi in relazione i valori che derivano da una medesima pubblicazione, oppure i valori che hanno lo stesso codice identificativo, come nello schema di **Figura 167**.

Il sistema può anche correlare i dati ordinando i valori corrispondenti a ciascun parametro e associando tra loro i valori dello stesso ordine, come descritto in **Figura 168**.

Infine, per completezza, è previsto anche un metodo di associazione che valuta tutte le combinazioni possibili dei valori di ciascun parametro.

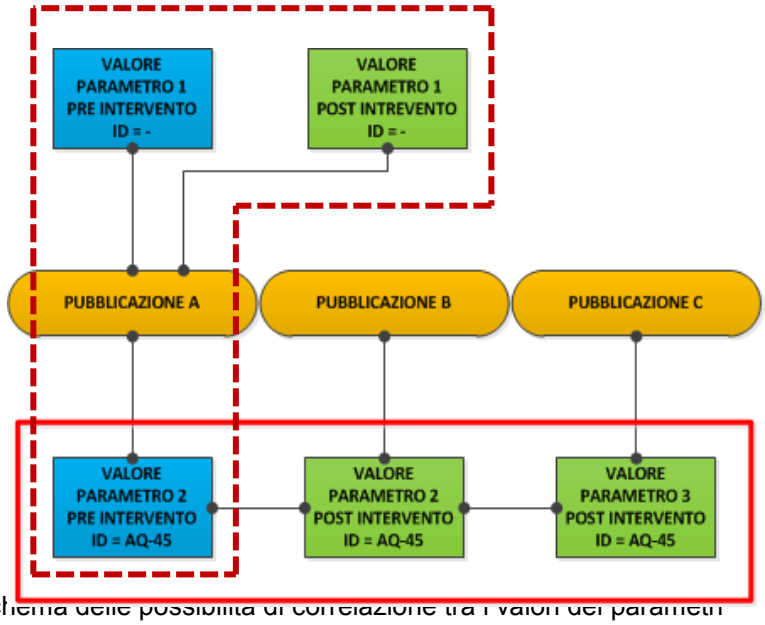


Figura 167: Schema delle possibilità di correlazione tra i valori dei parametri

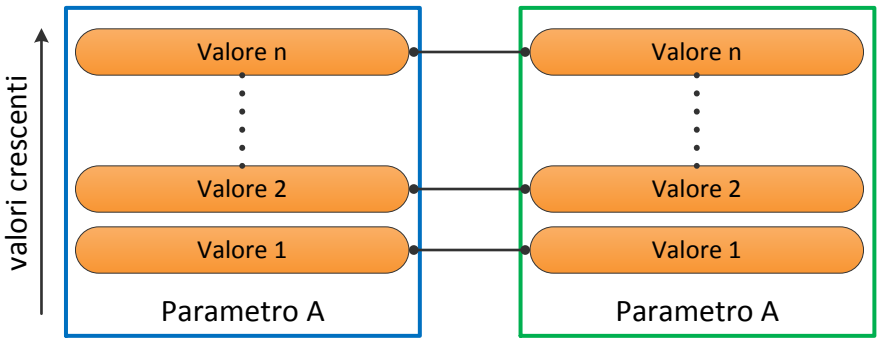


Figura 168: Schema di associazione in funzione dell'ordinamento

5.6 *LE POTENZIALITÀ DI CONDIVISIONE DELLE INFORMAZIONI DEL "DATA WAREHOUSE"*

Il "data warehouse" è sviluppato su piattaforma web ed è di libero accesso per consultazione. Questo permette la visualizzazione delle informazioni da qualunque dispositivo fisso o mobile, come schematizzato in **Figura 169**.

La sicurezza delle transazioni durante l'accesso all'area riservata è garantita dal protocollo di connessione HTTPS (HyperText Transfer Protocol over Secure Socket Layer).

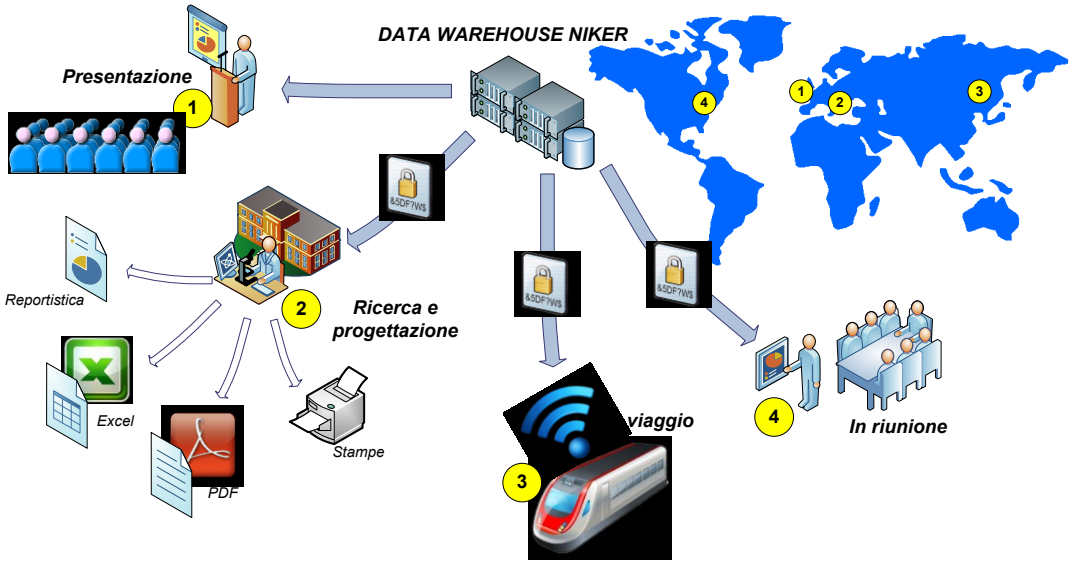


Figura 169: Schema rappresentativo delle potenzialità di condivisione delle informazioni del "data warehouse"

6 L'ANALISI DEI DATI RACCOLTI

6.1 *I RISULTATI*

Si può affermare che i sette obiettivi del progetto esposti nell'introduzione siano stati tutti raggiunti.

Le attività di inventario del materiale disponibile in letteratura e analisi delle banche dati esistenti sono state portate a termine già nella prima fase e sono state propedeutiche alle fasi successive.

La semplificazione delle suddivisione tipologiche e la riorganizzazione delle categorie dei materiali rappresenta un primo risultato importante. La nuova organizzazione non è in contrapposizione con altre classificazioni proposte in precedenza ed è stata pensata e organizzata intorno al concetto di applicabilità, non a quello di inventario; ciò che accomuna gli elementi di una determinata categoria è il comportamento statico e la risposta alle sollecitazioni sismiche. Questo nuovo tipo di organizzazione rende più agevole la fase di inquadramento generale di una struttura in un caso pratico di progetto.

Il "data warehouse" ha permesso anche la definizione dei livelli di prestazione necessari per una progettazione moderna e avanzata degli interventi, attività dal risvolto applicativo di notevole importanza (FEMA P695, 2008).

Con il medesimo scopo, e strettamente correlata con i parametri e gli indicatori prestazionali di rendimento, è la revisione dei meccanismi di collasso. Le informazioni a disposizione erano sparse e disomogenee. Il "data warehouse" ha permesso sia di raccoglierle in un unico contenitore uniformandone la presentazione, sia di definire, per ciascuna di esse, gli indicatori prestazionali di rendimento misurabili e descrittivi coinvolti.

La creazione delle schede delle tecniche di intervento ha rappresentato l'ultimo risultato legato alla sistematizzazione del materiale disponibile.

I cataloghi delle tipologie costruttive, degli interventi e delle pubblicazioni sono riportati in appendice (Allegato 4, Allegato 5 e Allegato 6).

Il risultato principale di tutto il lavoro di ricerca, però, è rappresentato dal "data warehouse", la cui ideazione e creazione hanno permesso di raggiungere tutti gli obiettivi appena esposti. La sua innovativa veste grafico-concettuale lo rende uno strumento moderno estremamente pratico a supporto sia della progettazione che della ricerca e il suo sviluppo con le più moderne ed efficienti tecnologie di programmazione web, insieme alla decisione di garantire libero accesso alla maggior parte dei suoi contenuti, ha soddisfatto anche l'esigenza di contribuire in modo attivo alla condivisione della conoscenza.

L'individuazione dei legami esistenti tra interventi, tipologie di materiale e meccanismi di rottura, rappresenta il fulcro applicativo dell'attività svolta. Nel "data warehouse", la correlazione tra le informazioni avviene su tre livelli di conoscenza, ciascuno dei quali è un approfondimento di quello precedente e rappresenta, al tempo stesso, un risultato a sé stante, dal momento che coinvolge ambiti applicativi diversi.

Il primo livello riguarda l'individuazione di quegli interventi sono appropriati per ciascuna tipologia di materiale in funzione del meccanismo di collasso. Questa correlazione trova la sua massima espressione applicativa nella fase di progetto di un intervento su un manufatto leso. Il "data warehouse" può fornire tutte le informazioni a supporto della decisione suggerendo, in funzione della specifica dell'elemento e del meccanismo coinvolto, gli interventi più appropriati sulla base di casi simili presenti in letteratura.

Lo strumento di correlazione è in questo caso rappresentato dalla struttura grafica del sistema che permette di individuare visivamente la soluzione. A puro titolo di esempio, supponendo di essere di fronte ad una muratura in pietra a paramento multiplo soggetta a rottura nel piano, il sistema mi permette di individuare gli interventi suggeriti semplicemente individuando la cella la cui riga corrisponde alla specifica dell'elemento e la cui colonna corrisponde al meccanismo prescelto (**Figura 170**). Come ulteriore ausilio visivo, cliccando sulla specifica e sul meccanismo, riga e colonna corrispondenti vengono evidenziati in colore grigio scuro. In questo caso si individuano: due soluzioni di tiranti verticali post-tesi (una delle quali è una soluzione specifica di una ditta), iniezioni e ristilatura dei giunti. Consultando le schede relative a questi interventi, è possibile individuare, oltre alle specifiche tecniche, la bibliografia di riferimento che consente di investigare opportunamente sulla applicabilità di ciascuno di essi al caso specifico.

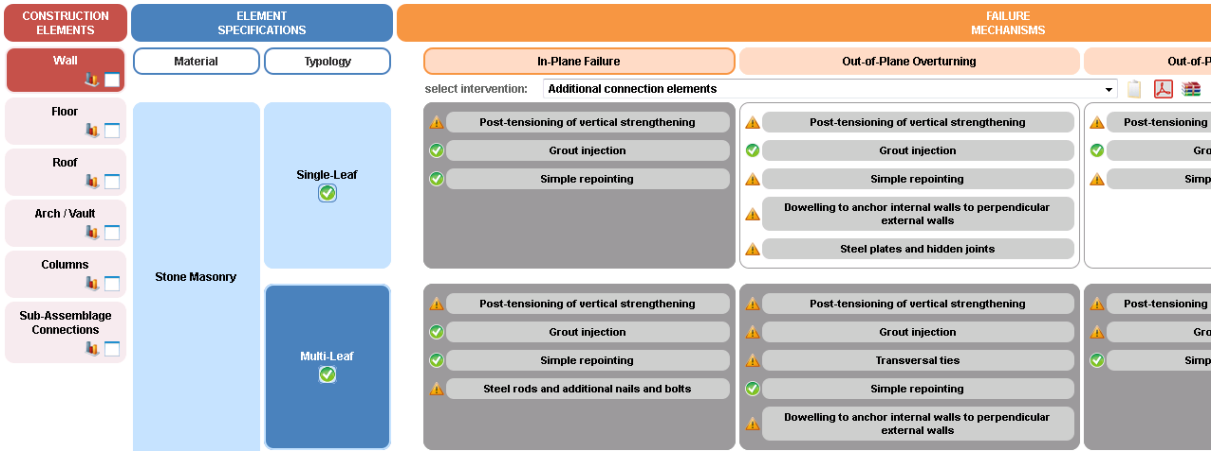


Figura 170: Individuazione degli interventi suggeriti per la muratura in pietra a paramento multiplo soggetta a rottura nel piano

In totale sono state individuate 36 specifiche di elementi suddivise tra 6 elementi costruttivi, sono stati definiti 29 meccanismi di collasso e sono stati catalogati 97 interventi.

I dettagli dei meccanismi di collasso e tutte le connessioni tra le specifiche degli elementi, i meccanismi di collasso e gli interventi sono riportati nel paragrafi da 0 a 0, suddivisi per elemento costruttivo.

Questo primo e fondamentale risultato trova dunque il suo prevalente campo di applicazione nella progettazione degli interventi e si rivolge ai professionisti.

Il secondo livello di conoscenza entra maggiormente nel dettaglio delle caratteristiche degli elementi e dei loro materiali attraverso l'individuazione dei parametri fisici, meccanici e geometrici che ne caratterizzano il comportamento sismico. Inoltre, appartiene a questo livello l'individuazione degli indicatori prestazionali di rendimento, misurabili e descrittivi, coinvolti in ciascun meccanismo di collasso.

Riprendendo, sempre a mero titolo di esempio, la muratura in pietra a paramento multiplo, si possono individuare 15 parametri che ne caratterizzano il comportamento (**Figura 171**), mentre la rottura nel piano dei muri coinvolge 16 indicatori prestazionali di rendimento misurabili e 3 descrittivi (**Figura 172**).

Tra i parametri caratteristici dell'elemento sono compresi anche quelli dei suoi componenti. Per la muratura in oggetto sono stati individuati 4 elementi che caratterizzano la malta e 8 che caratterizzano la pietra.

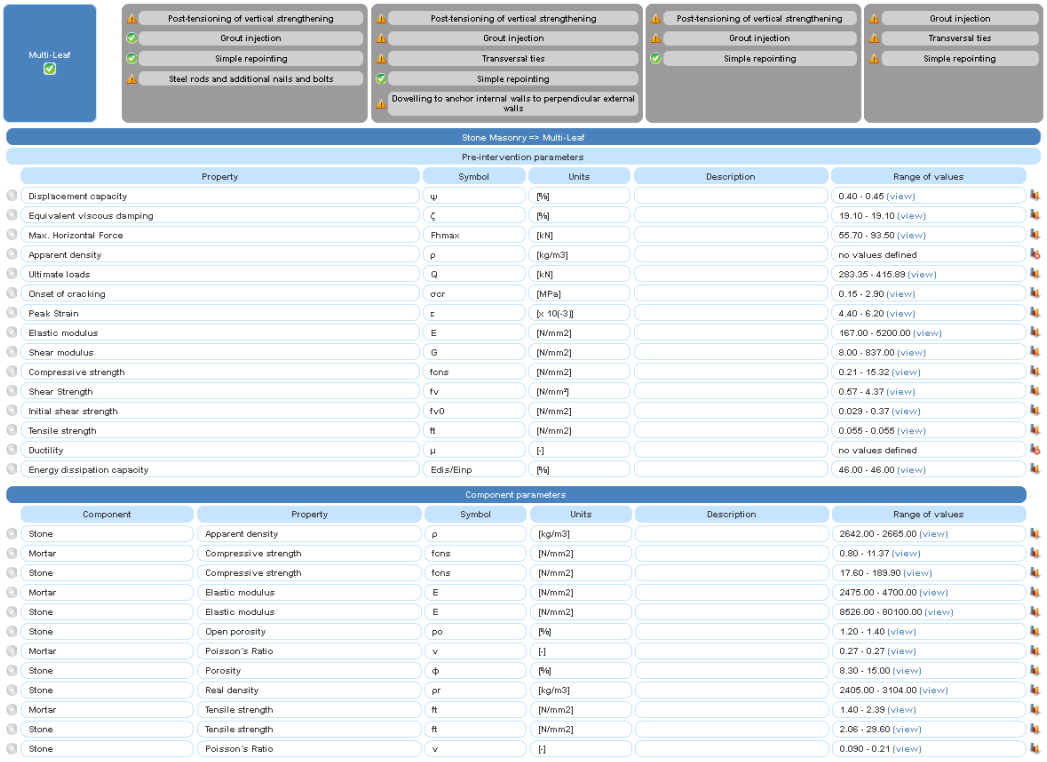


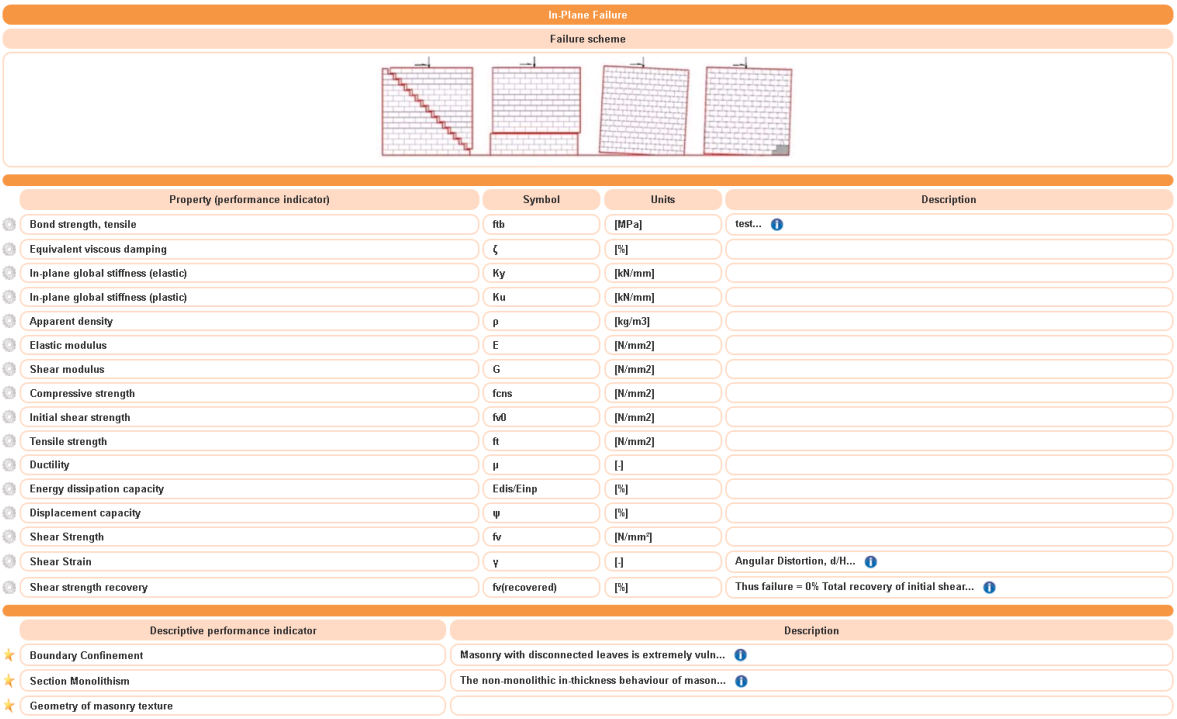
Figura 171: Parametri che caratterizzano il comportamento sismico della muratura in pietra a paramento multiplo

Ciascun intervento andrà poi ad agire sui parametri del materiale che trovano una corrispondenza tra gli indicatori prestazionali di rendimento coinvolti in un dato meccanismo. L'insieme di tali parametri è comune a tutti gli interventi della cella.

Ciò che differenzia un particolare intervento da un altro sono i parametri dell'eventuale materiale di rinforzo e le conseguenze che l'intervento comporta sullo specifico meccanismo.

Se ad esempio dovessimo scegliere tra gli interventi suggeriti le iniezioni, il sistema propone gli 11 parametri in comune tra le proprietà della muratura e gli indicatori misurabili coinvolti dalla rottura nel piano. In più vengono definiti i parametri del materiale di rinforzo introdotto dall'intervento (nel caso specifico la miscela) e vengono elencati gli indicatori descrittivi propri del meccanismo (**Figura 173**).

L'insieme globale dei parametri collegati ad un intervento è valido solo in riferimento alla specifica combinazione di muratura in pietra a paramento multiplo con la rottura nel piano e soggetta a iniezioni. Una qualsiasi altra combinazione di oggetti definisce un insieme differente di parametri.



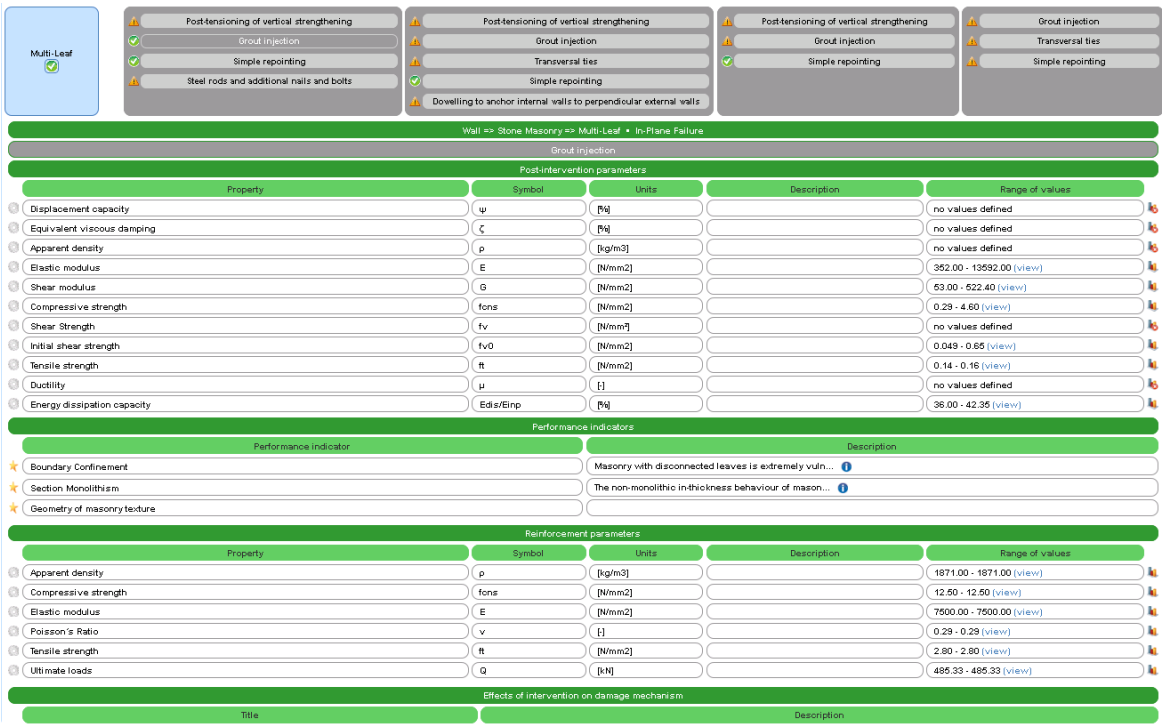
In-Plane Failure

Failure scheme

Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Bond strength, tensile	ftb	[MPa]	test...
Equivalent viscous damping	ζ	[%]	
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]	
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]	
Apparent density	ρ	[kg/m3]	
Elastic modulus	E	[N/mm2]	
Shear modulus	G	[N/mm2]	
Compressive strength	fcns	[N/mm2]	
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]	
Tensile strength	ft	[N/mm2]	
Ductility	μ	[-]	
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]	
Displacement capacity	ψ	[%]	
Shear Strength	fv	[N/mm²]	
Shear Strain	γ	[-]	Angular Distortion, d/H...
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]	Thus failure = 0% Total recovery of initial shear...

Descriptive performance indicator	Description
Boundary Confinement	Masonry with disconnected leaves is extremely vuln...
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Geometry of masonry texture	

Figura 172: Indicatori prestazionali di rendimento coinvolti nel meccanismo di rottura nel piano dei muri



Multi-Leaf

Post-tensioning of vertical strengthening	Post-tensioning of vertical strengthening	Post-tensioning of vertical strengthening	Grout injection
Grout injection	Grout injection	Grout injection	Transversal ties
Simple repointing	Transversal ties	Simple repointing	Simple repointing
Steel rods and additional nails and bolts	Simple repointing		
	Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls		

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf • In-Plane Failure

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		352.00 - 13592.00 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		53.00 - 522.40 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.29 - 4.60 (view)
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		0.049 - 0.65 (view)
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.14 - 0.16 (view)
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		36.00 - 42.35 (view)

Performance indicators

Performance indicator	Description
Boundary Confinement	Masonry with disconnected leaves is extremely vuln...
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Geometry of masonry texture	

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1871.00 - 1871.00 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		12.50 - 12.50 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		7500.00 - 7500.00 (view)
Poisson's Ratio	v	[-]		0.29 - 0.29 (view)
Tensile strength	ft	[N/mm2]		2.80 - 2.80 (view)
Ultimate loads	Q	[kN]		485.33 - 485.33 (view)

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description

Figura 173: Proprietà ricavate dal sistema per le iniezioni nelle murature in pietra a paramento multiplo soggette a rottura nel piano

Tutti i gruppi di parametri per ciascuna combinazione di tipologia di materiale, meccanismo di rottura e intervento sono riportati in Appendice (Allegato 7).

Il "data warehouse", per come è stato concepito, si propone come uno specchio del livello di conoscenza scientifica sul comportamento sismico delle costruzioni storiche. In quest'ottica, dunque, riuscire ad individuare quali siano i parametri che caratterizzano il comportamento sismico di ciascuna tipologia di elemento rappresenta già di per sé un risultato estremamente importante. D'altra parte, lo strumento può essere utilizzato anche per valutare il grado di conoscenza in modo alquanto dettagliato. Una carenza nei dati, dunque, il più delle volte riflette una difficile reperibilità di quei dati in letteratura, evidenziano possibili carenze di indagine.

Il terzo livello di conoscenza è relativo ai valori che i parametri assumono nelle condizioni di pre e di post-intervento, intendendo quella di pre-intervento come la condizione di normale esercizio, prima di eventuali danni provocati da un evento sismico. Tali valori derivano da sperimentazioni in laboratorio, prove in situ o da modelli numerici e sono ricavate esclusivamente da pubblicazioni. Questo ne garantisce sia la verificabilità, sia, nei modi descritti nel paragrafo 5.5, una possibilità di correlazione.

La presenza o meno di valori inseriti è indicata già nella lista dei parametri, dove, per ciascun parametro, ne è fornito l'intervallo numerico di definizione. La conoscenza del mero dato numerico, però, non è sufficiente a soddisfare in modo adeguato le esigenze applicative e di ricerca, rendendo peraltro il sistema estremamente pericoloso. Ciascun valore necessita della giusta contestualizzazione che deve essere fatta da personale qualificato. Il sistema è di aiuto in questo perché può fornire il dettaglio completo per ciascun elemento. La descrizione delle condizioni al contorno e la pubblicazione di riferimento permettono di decidere quali siano le condizioni ottimali perché quel valore possa essere utilizzato correttamente.

Supponiamo, sempre facendo riferimento all'esempio considerato in precedenza, di voler confrontare i valori pre (**Figura 174**) e post (**Figura 175**) intervento del modulo di taglio. Il sistema consente di valutare 11 valori censiti pre-intervento e 7 post-intervento, con relative fonti.

Il dettaglio completo di tutti i valori inseriti per ciascun parametro è riportato in Appendice (Allegato 7).

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Shear modulus - G [N/mm2]

Value	Description	Publication
8		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
32		Dal Farra, V. (1992). "Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra". MS thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
36		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
40		Tomaževič, M., Lutman, M., Weiss, P., Velechovsky, T. (1992). "The influence of rigidity of floors on the seismic resistance of old masonry buildings". Technical report, Report ZRMK. Ljubljana. In English. (ON SITE TESTS)
52		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). "Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing". Construction and Building Materials, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)
79		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)
166		Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. (2003). "Experimental study on the determination of strength of masonry walls". Construction and Building Materials, 17(5), 325–337. In English. (LAB TESTS)
173		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati" Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
180	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests considering three different approaches (average value).	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
245		Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). "In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests". Masonry International, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)
837		Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni". Technical report, Università degli Studi di Pavia, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)

Figura 174: Valori pre-intervento del modulo di taglio per la muratura in pietra a paramento multiplo ricavate da pubblicazioni scientifiche

Grout injection [Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf • In-Plane Failure]

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
53		Dal Farra, V. (1992). "Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra". MS thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
111		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
142		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)
268		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati". Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
275		Tomaževič, M. (1992). "Laboratory and in-situ tests of the efficacy of grouting and tying of stone masonry walls". International workshop on the Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Politecnico di Milano, 95–116. In English. (LAB TESTS)
522.4		Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
522.4	Reinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests considering three different approaches (average value).	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Figura 175: Valori post-intervento del modulo di taglio per la muratura in pietra a paramento multiplo dopo un intervento di iniezioni, ricavate da pubblicazioni scientifiche

Se questo rappresenta indubbiamente un terzo risultato di sicuro interesse, sia in campo professionale che scientifico, risulta abbastanza evidente che la presenza, auspicabile nel futuro, di una ingente quantità di dati renderebbe difficoltosa sia la reperibilità che il confronto delle informazioni. È stato necessario perciò, sviluppare un sistema interattivo e dinamico che consenta all'utente di cercare non solo dati specifici, ma di creare correlazioni a scelta tra i vari parametri valutandone l'esito, sia per scopi di analisi e verifica che di ricerca. Questo strumento è stato denominato "generatore di grafici dinamici" e rappresenta un ulteriore importante risultato del "data warehouse". Il suo funzionamento in dettaglio è spiegato nel paragrafo 5.5, mentre nel paragrafo 6.2.2 sono riportati due esempi mirati alla validazione dei dati inseriti.

Un altro risultato che il "data warehouse" fornisce è la valutazione sul grado di conoscenza dello stato dell'arte sulle costruzioni storiche soggette ad azioni sismiche. Tale valutazione è basata sulla quantità di dati a disposizione ed è importante perché fornisce preziose indicazioni sulle eventuali lacune conoscitive e di indagine. Questa valutazione è riportata e spiegata in dettaglio nel paragrafo 6.2.1.

6.1.1 Elemento costruttivo "muro"

6.1.1.1 *I meccanismi di collasso*

Sono stati definiti 4 meccanismi di collasso per i muri. Le figure seguenti illustrano gli schemi e gli indicatori di rendimento prestazionale propri di ciascun meccanismo.

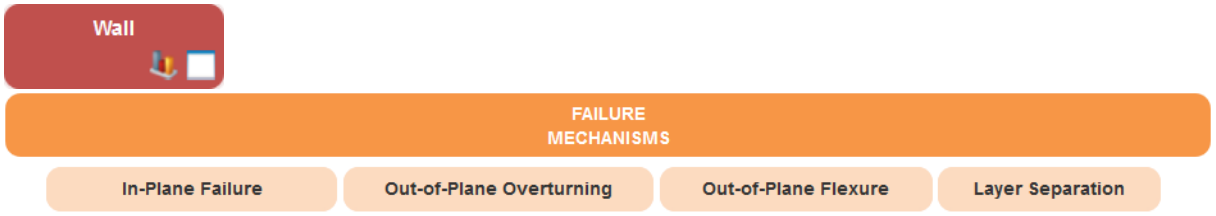
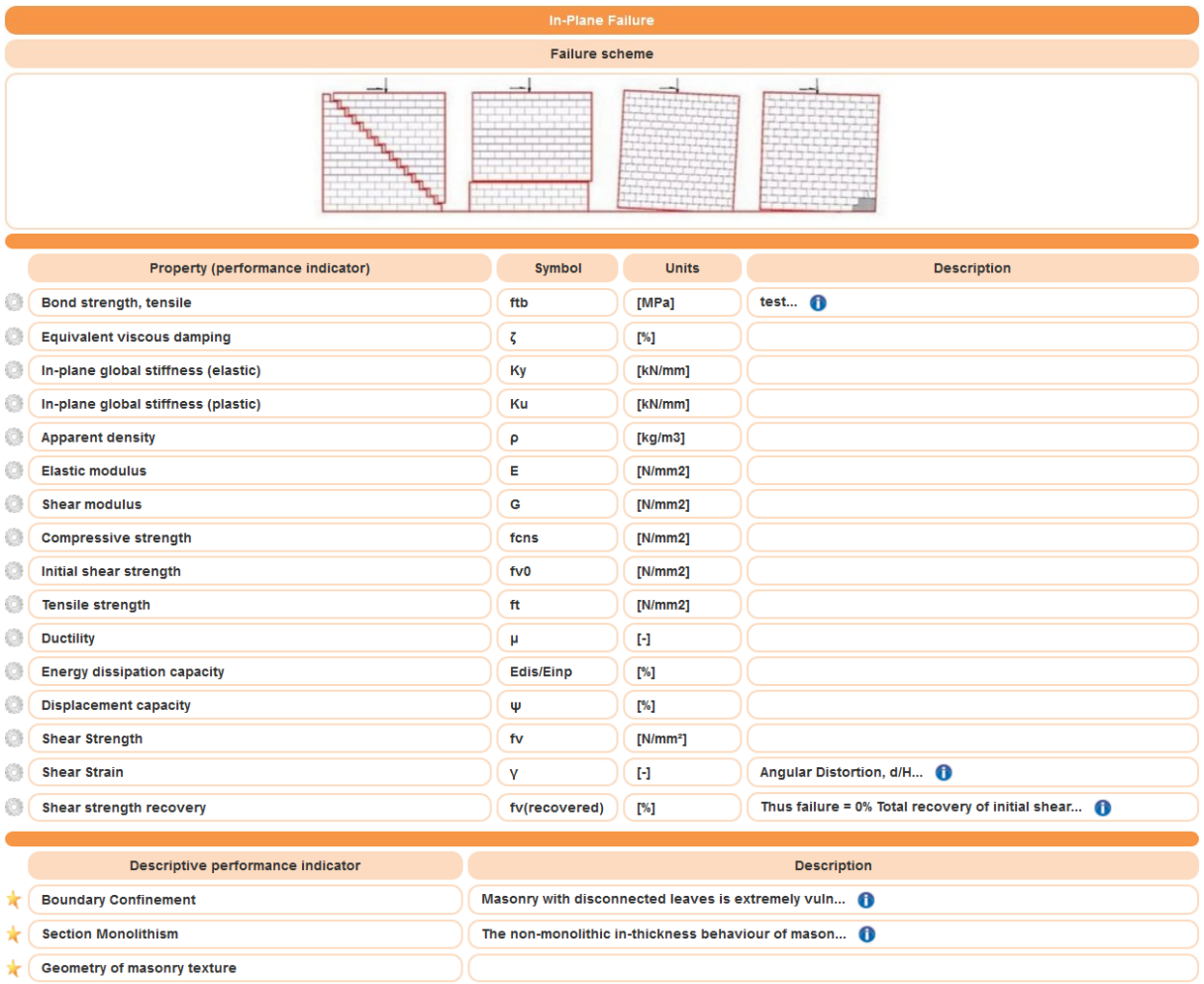


Figura 176: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "muro"



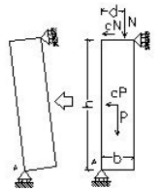
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Bond strength, tensile	ftb	[MPa]	test...
Equivalent viscous damping	ζ	[%]	
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]	
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]	
Apparent density	ρ	[kg/m3]	
Elastic modulus	E	[N/mm2]	
Shear modulus	G	[N/mm2]	
Compressive strength	fcns	[N/mm2]	
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]	
Tensile strength	ft	[N/mm2]	
Ductility	μ	[-]	
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]	
Displacement capacity	ψ	[%]	
Shear Strength	fv	[N/mm²]	
Shear Strain	γ	[-]	Angular Distortion, d/H...
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]	Thus failure = 0% Total recovery of initial shear...

Descriptive performance indicator	Description
Boundary Confinement	Masonry with disconnected leaves is extremely vuln...
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Geometry of masonry texture	

Figura 177: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

Out-of-Plane Overturning

Failure scheme



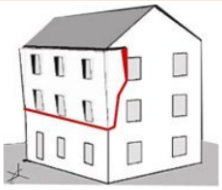
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Compressive strength	fcns	[N/mm2]	
Elastic modulus	E	[N/mm2]	
Tensile strength	ft	[N/mm2]	
Displacement capacity	ψ	[%]	
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]	
Ductility	μ	[-]	
Cohesion coefficient	C	[N/mm2]	
Bond strength, tensile	ftb	[MPa]	test...

Descriptive performance indicator	Description
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Geometry of masonry texture	
Interpretation of the masonry vulnerability (good or poor connections)	

Figura 178: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "ribaltamento fuori piano" per l'elemento costruttivo "muro"

Out-of-Plane Flexure

Failure scheme



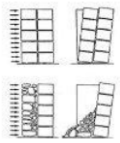
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Compressive strength	fcns	[N/mm2]	
Elastic modulus	E	[N/mm2]	
Tensile strength	ft	[N/mm2]	
Displacement capacity	ψ	[%]	
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]	
Ductility	μ	[-]	
Cohesion coefficient	C	[N/mm2]	
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]	
Flexural Strength	fb	[N/mm²]	

Descriptive performance indicator	Description
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Boundary Confinement	Masonry with disconnected leaves is extremely vuln...
Number of masonry leaves	
Presence and number of headers	

Figura 179: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "flessione fuori piano" per l'elemento costruttivo "muro"

Layer Separation

Failure scheme

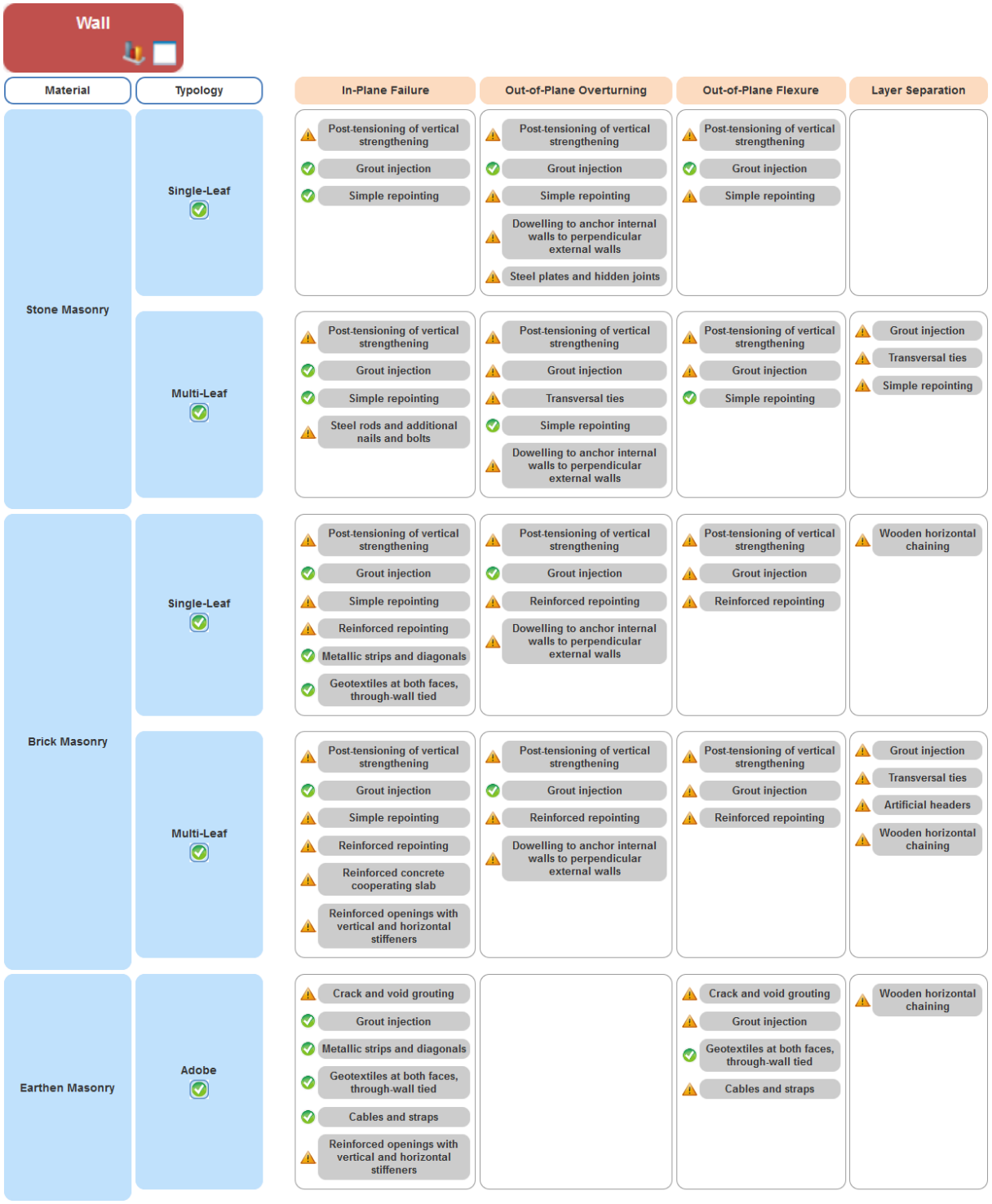


Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Cohesion coefficient	c	[N/mm2]	

Descriptive performance indicator	Description
Section Monolithism	The non-monolithic in-thickness behaviour of mason...
Boundary Confinement	Masonry with disconnected leaves is extremely vuln...
Presence and number of headers	
Geometry of masonry texture	
Number of masonry leaves	
Distribution of stones, mortar and voids in the wall section	
Interpretation of the masonry vulnerability (good or poor connections)	

Figura 180: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "separazione dei paramenti" per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.1.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di collasso*



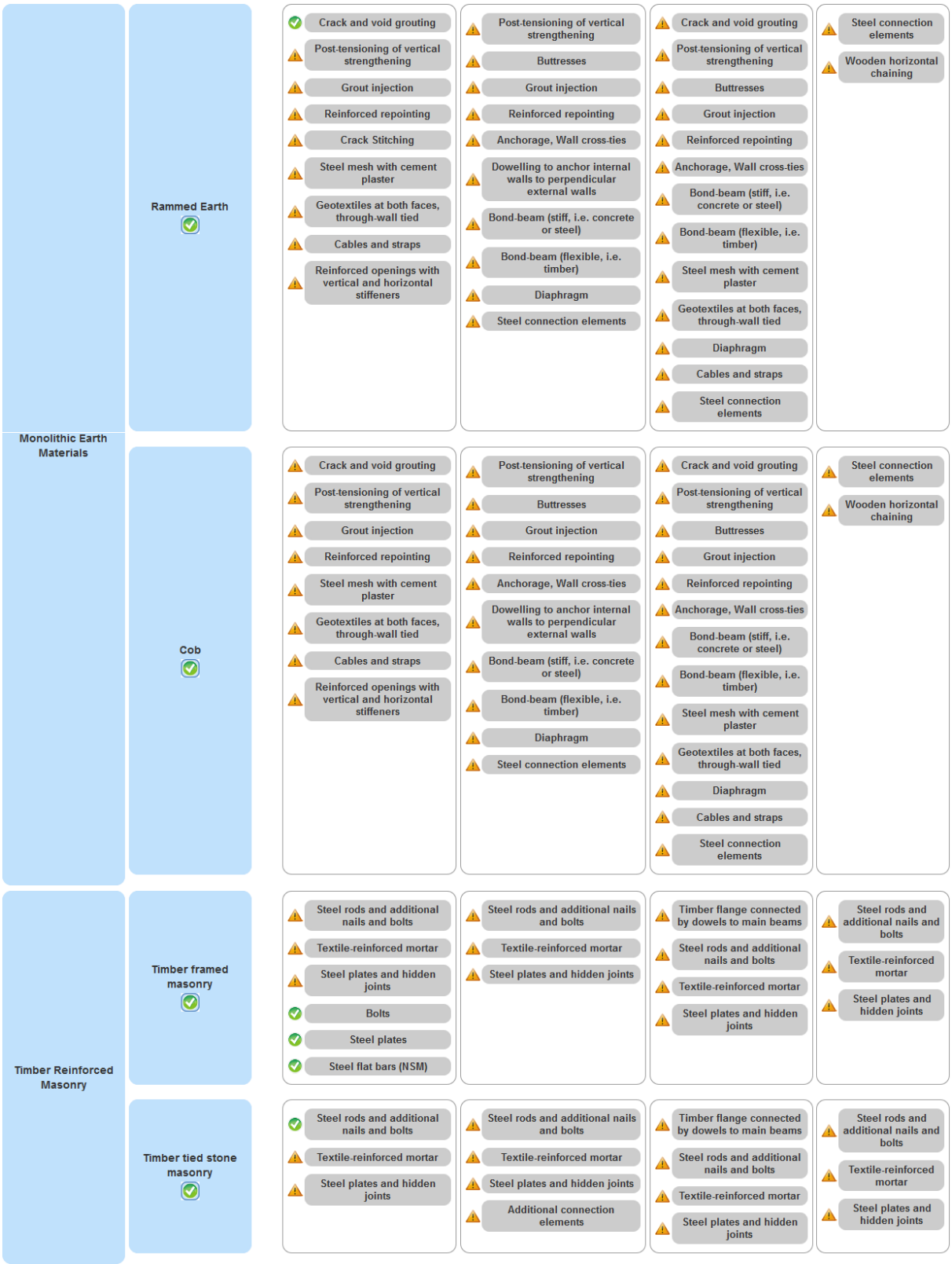


Figura 181: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.2 Elemento costruttivo "solaio"

6.1.2.1 *I meccanismi di collasso*

Sono stati definiti 7 meccanismi di collasso per i solai. Le figure seguenti illustrano gli schemi e gli indicatori di rendimento prestazionale propri di ciascun meccanismo.

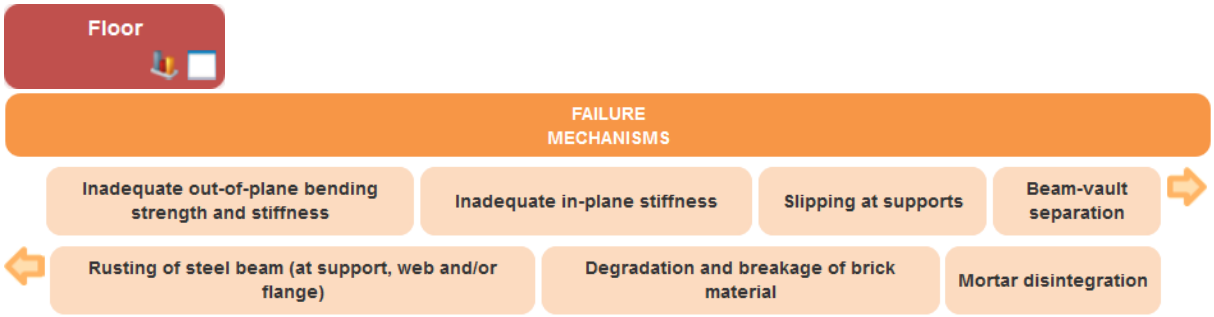
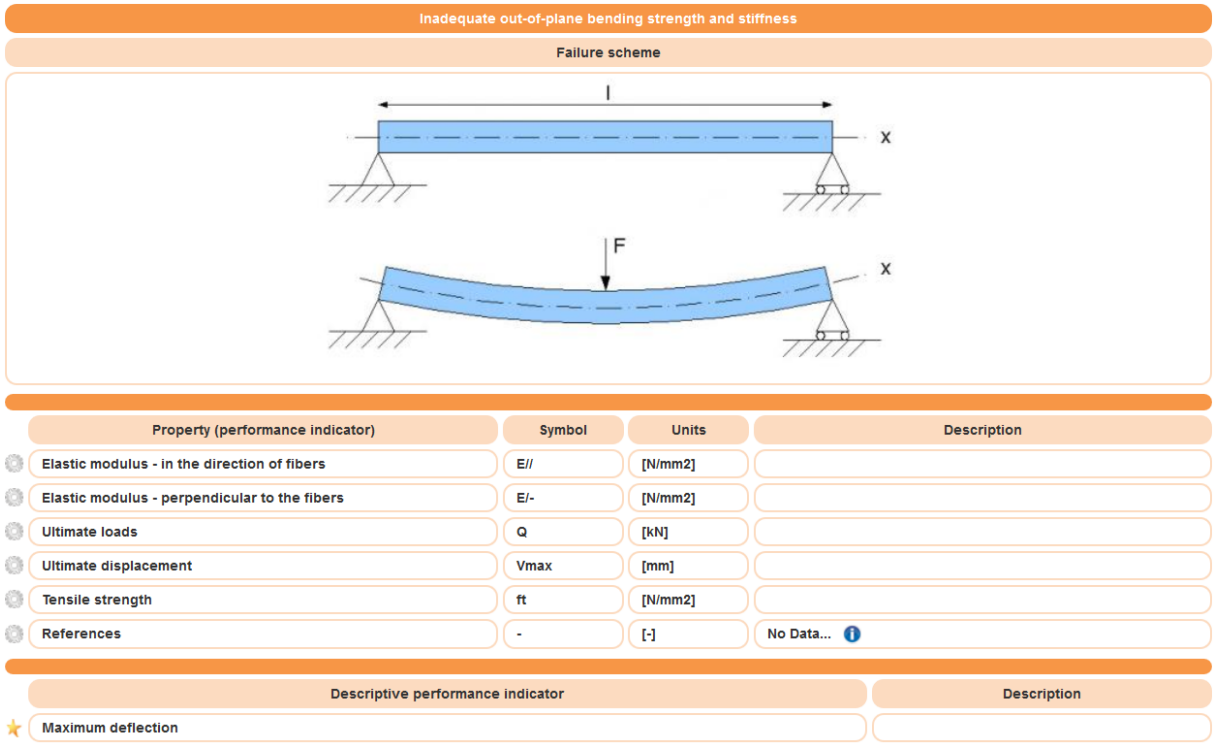


Figura 182: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "solaio"



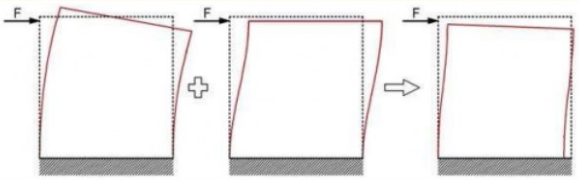
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]	
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]	
Ultimate loads	Q	[kN]	
Ultimate displacement	Vmax	[mm]	
Tensile strength	ft	[N/mm2]	
References	-	[-]	No Data...

Descriptive performance indicator	Description
Maximum deflection	

Figura 183: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "resistenza e rigidezza inadeguate per la flessione fuori piano" per l'elemento costruttivo "muro"

Inadequate in-plane stiffness

Failure scheme



Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]	
Ultimate displacement	Vmax	[mm]	
Yield Force	Fy	[kN]	
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]	
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]	
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]	
Shear Yield Force	Fyt	[kN]	
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]	
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]	
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]	
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]	
Apparent density	ρ	[kg/m3]	
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]	
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]	
References	-	[-]	No Data...

Descriptive performance indicator	Description
Joint effectiveness	
Maximum deflection	

Figura 184: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rigidezza nel piano inadeguata" per l'elemento costruttivo "muro"

Slipping at supports

Failure scheme

Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
References	-	[-]	No Data...

Descriptive performance indicator	Description

Figura 185: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "scivolamento agli appoggi" per l'elemento costruttivo "muro"

Beam-vault separation

Failure scheme

Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Ultimate displacement	Vmax	[mm]	

Descriptive performance indicator	Description

Figura 186: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "separazione trave-volta" per l'elemento costruttivo "muro"

Rusting of steel beam (at support, web and/or flange)			
Failure scheme			
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Descriptive performance indicator			Description

Figura 187: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

Rusting of steel beam (at support, web and/or flange)			
Failure scheme			
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Descriptive performance indicator			Description

Figura 188: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "trave metallica arrugginita" per l'elemento costruttivo "muro"

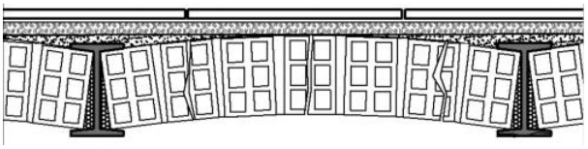
Degradation and breakage of brick material			
Failure scheme			
			
Property (performance indicator)	Symbol	Units	Description
Descriptive performance indicator			Description

Figura 189: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "degrado o rottura del laterizio" per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.2.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*

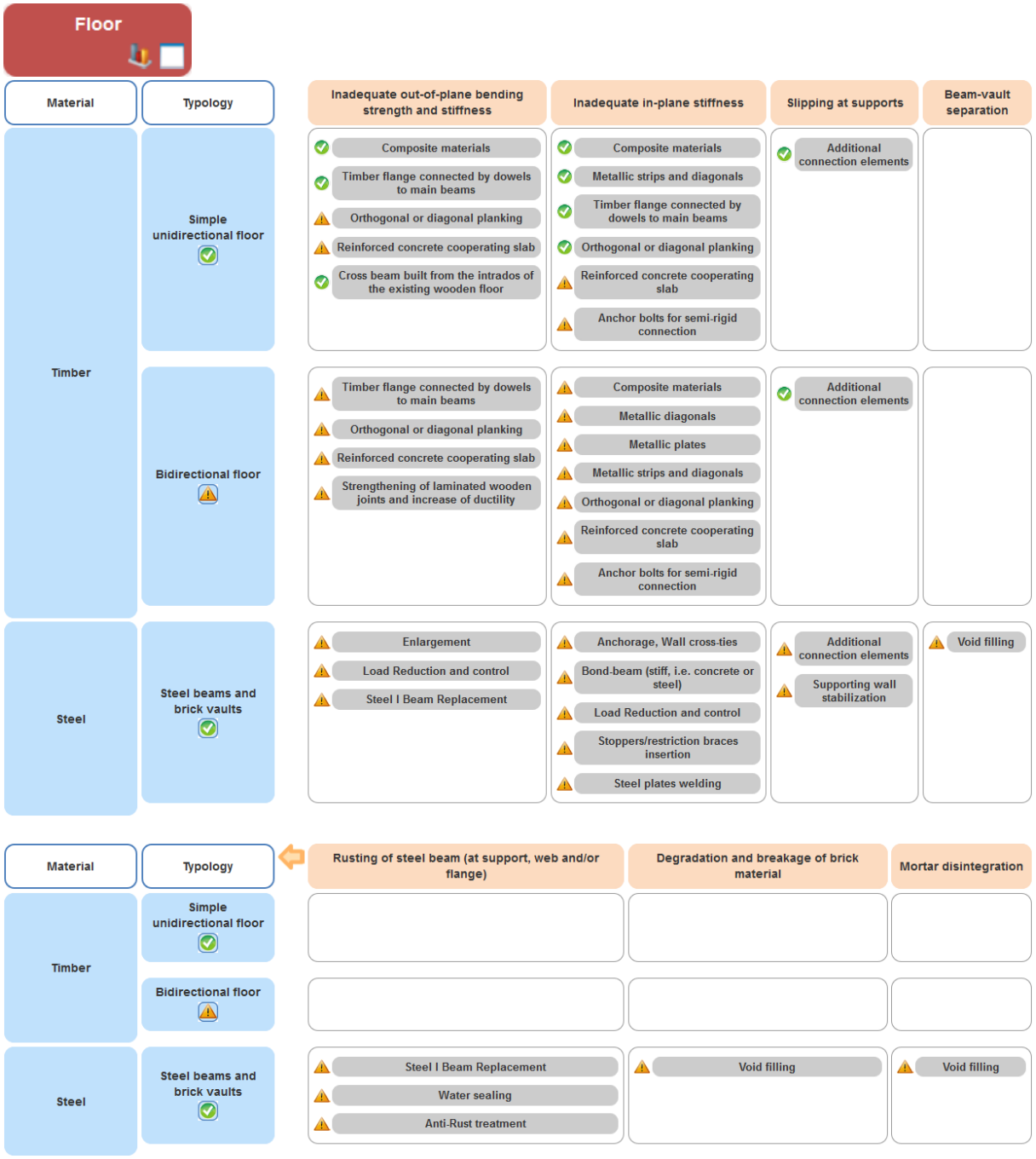


Figura 190: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "solaio"

6.1.3 Elemento costruttivo "copertura"

6.1.3.1 *I meccanismi di collasso*

Sono stati definiti 6 meccanismi di collasso per le coperture. Le figure seguenti illustrano gli schemi e gli indicatori di rendimento prestazionale propri di ciascun meccanismo.

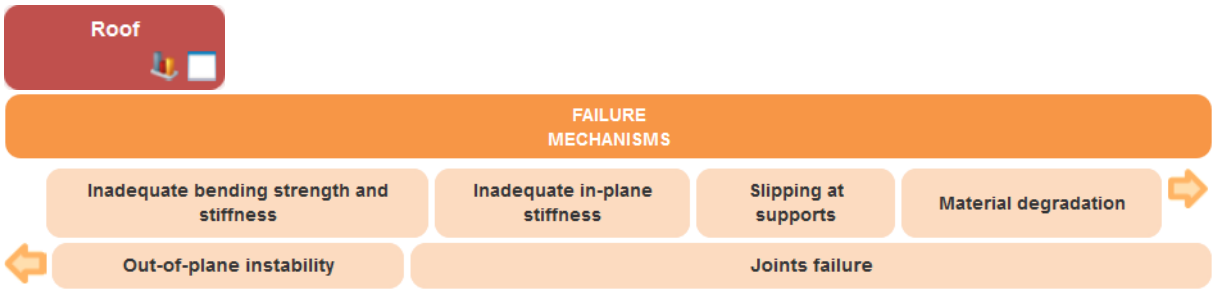


Figura 191: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "copertura"

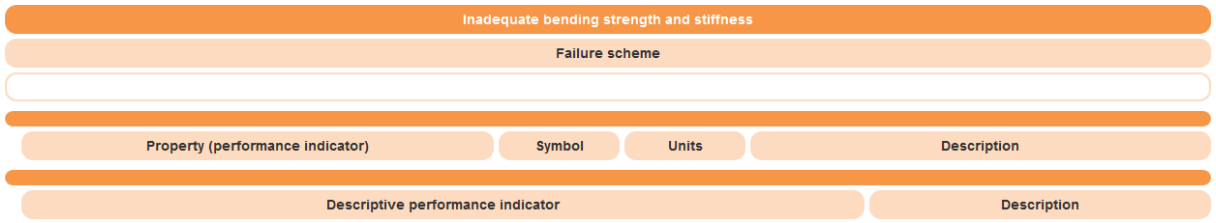


Figura 192: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "resistenza e rigidezza inadeguate a flessione" per l'elemento costruttivo "muro"

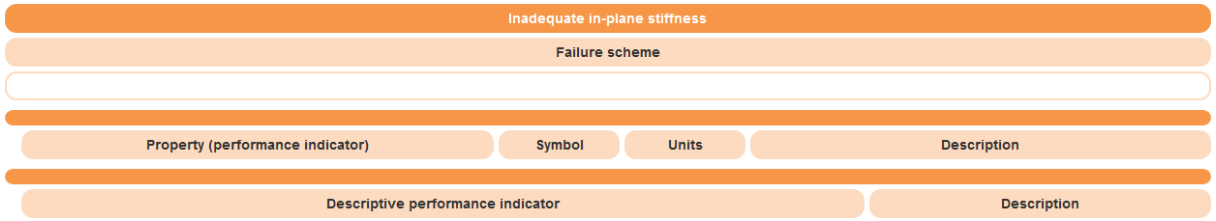


Figura 193: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rigidezza inadeguata nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

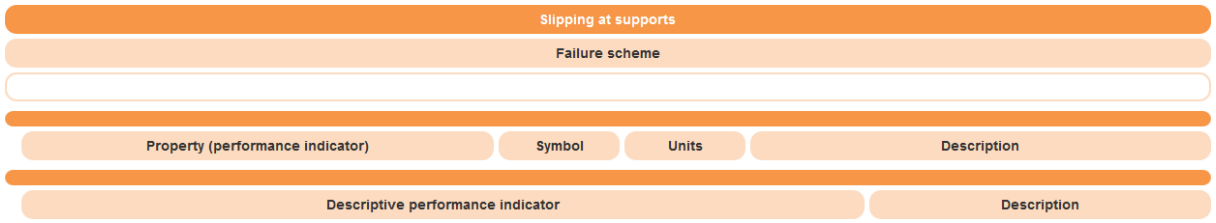


Figura 194: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "scivolamento dei supporti" per l'elemento costruttivo "muro"

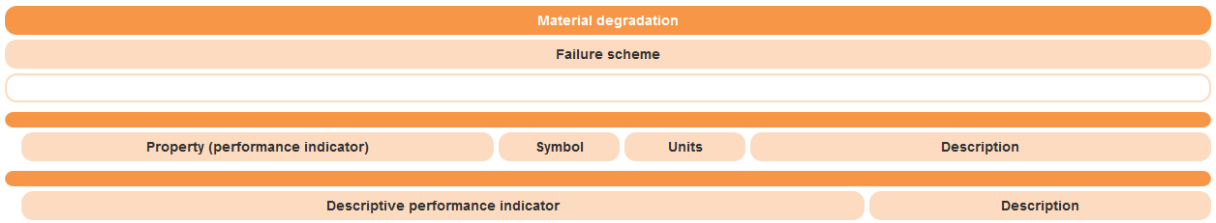


Figura 195: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "degrado del materiale" per l'elemento costruttivo "muro"

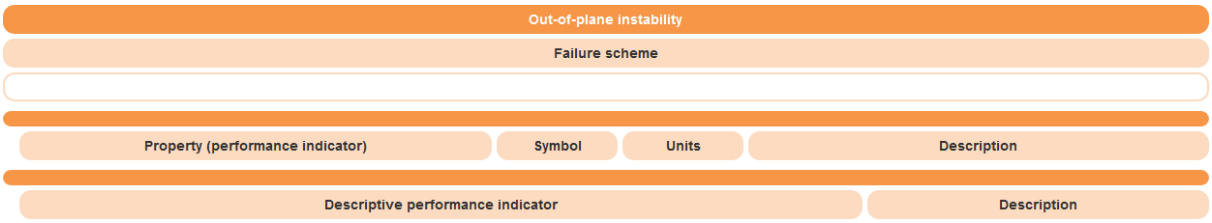


Figura 196: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "instabilità fuori piano" per l'elemento costruttivo "muro"

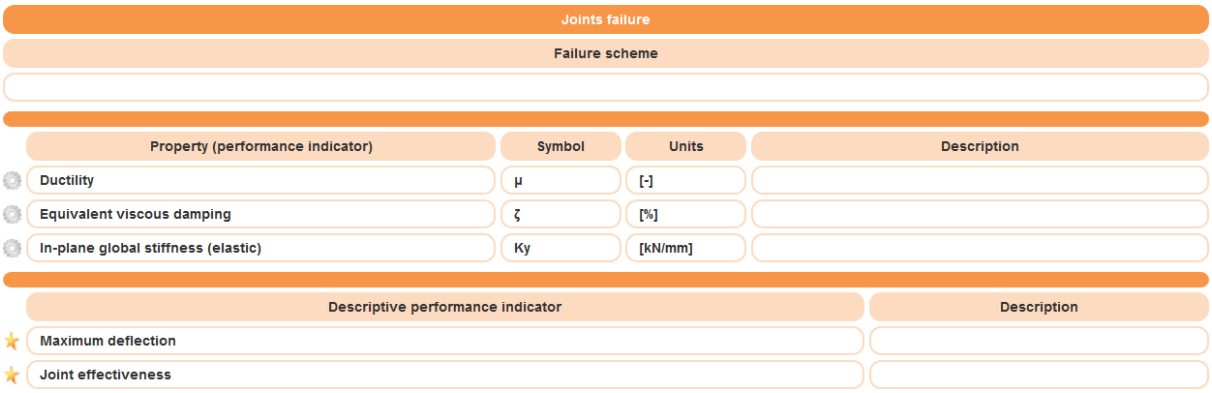


Figura 197: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura degli appoggi" per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.3.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*

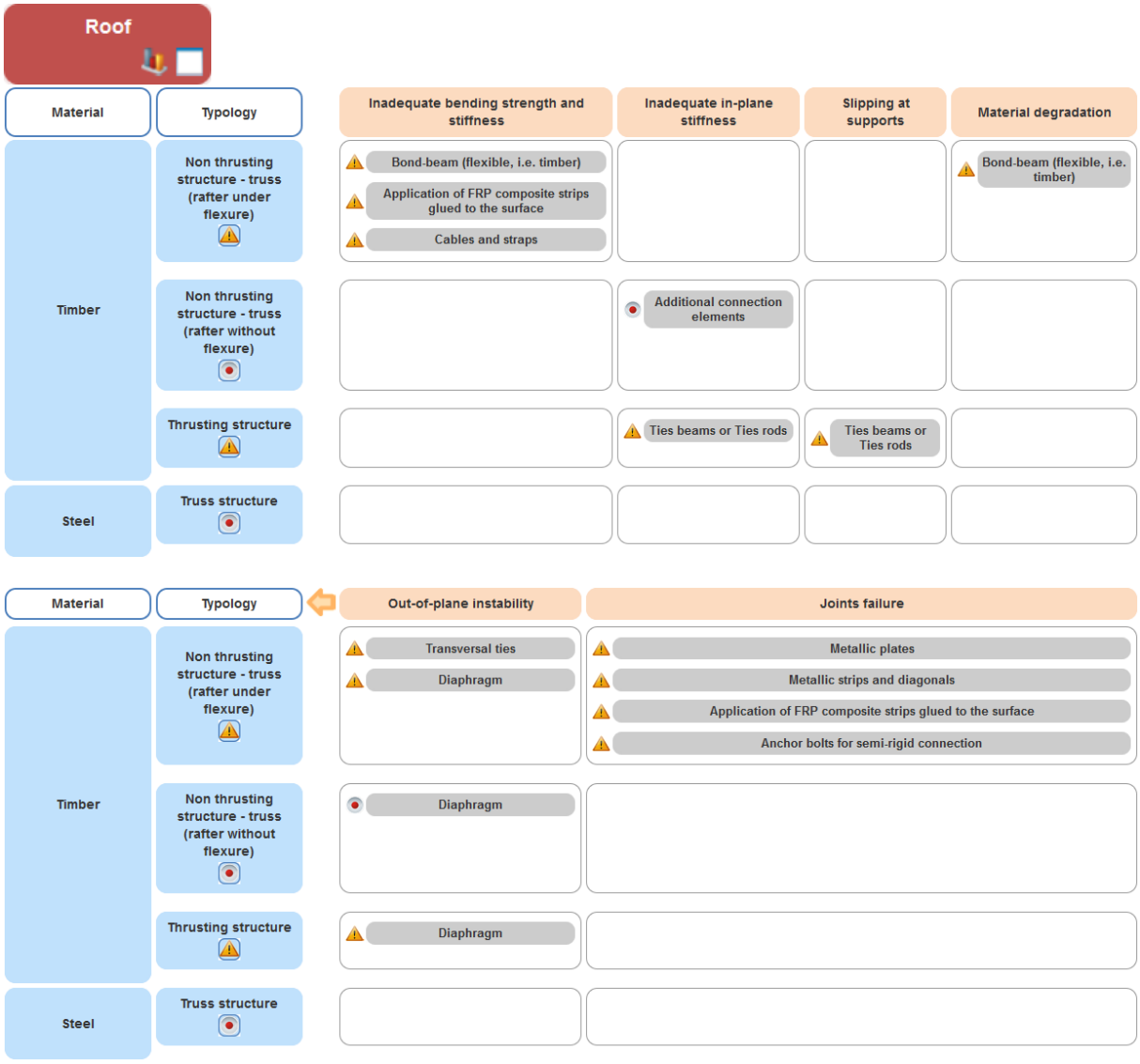


Figura 198: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "copertura"

6.1.4 Elemento costruttivo "arco / volta"

6.1.4.1 *I meccanismi di collasso*

Sono stati definiti 4 meccanismi di collasso per gli archi e le volte. Le figure seguenti illustrano gli schemi e gli indicatori di rendimento prestazionale propri di ciascun meccanismo.

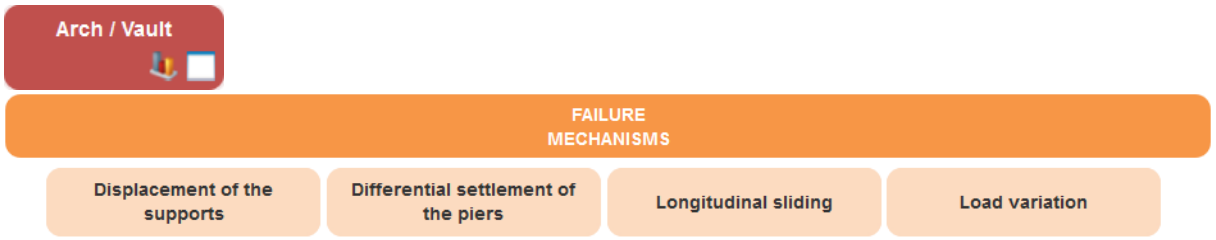


Figura 199: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "arco / volta"

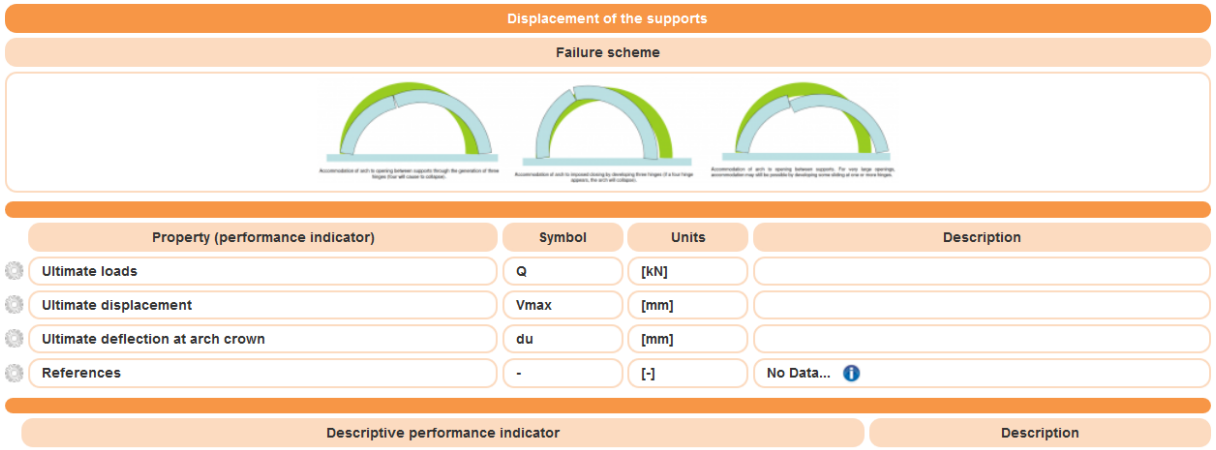


Figura 200: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "spostamento dei supporti" per l'elemento costruttivo "muro"

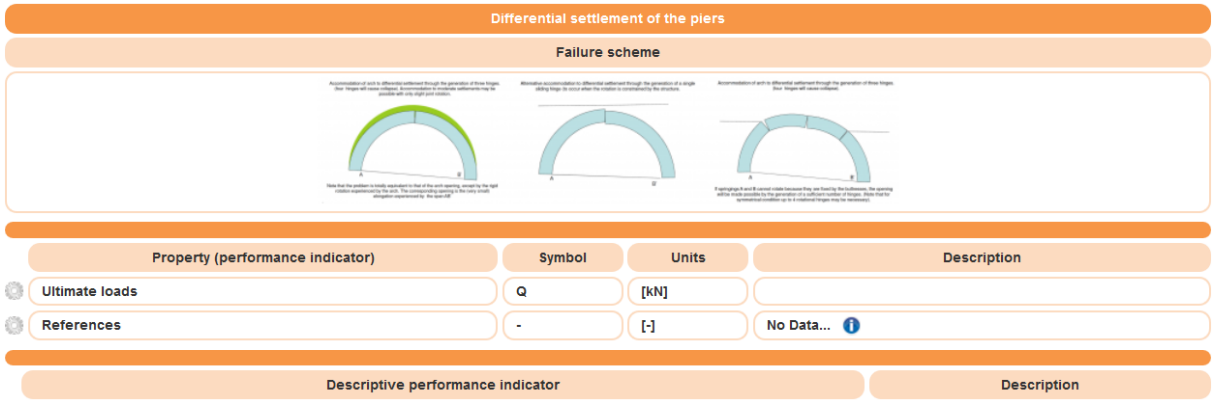


Figura 201: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "assestamento differenziale dei piedritti" per l'elemento costruttivo "muro"

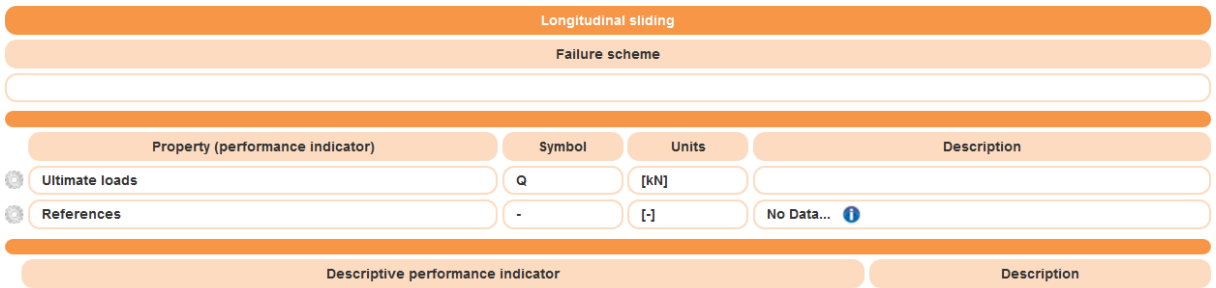


Figura 202: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "scivolamento longitudinale" per l'elemento costruttivo "muro"

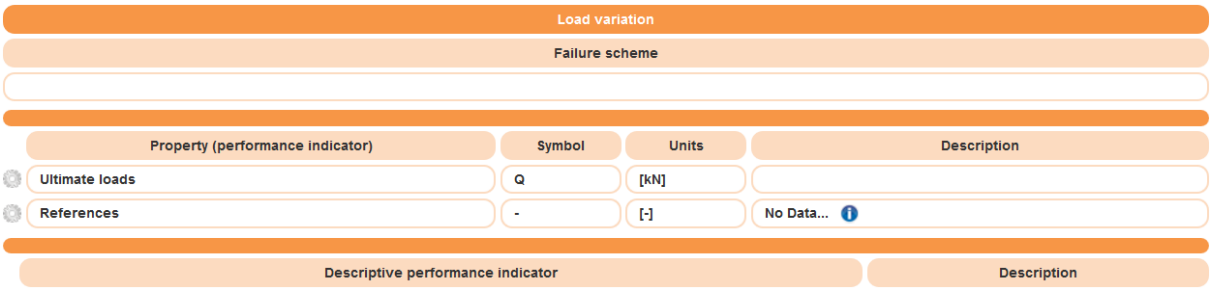


Figura 203: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "variazione del carico "per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.4.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*

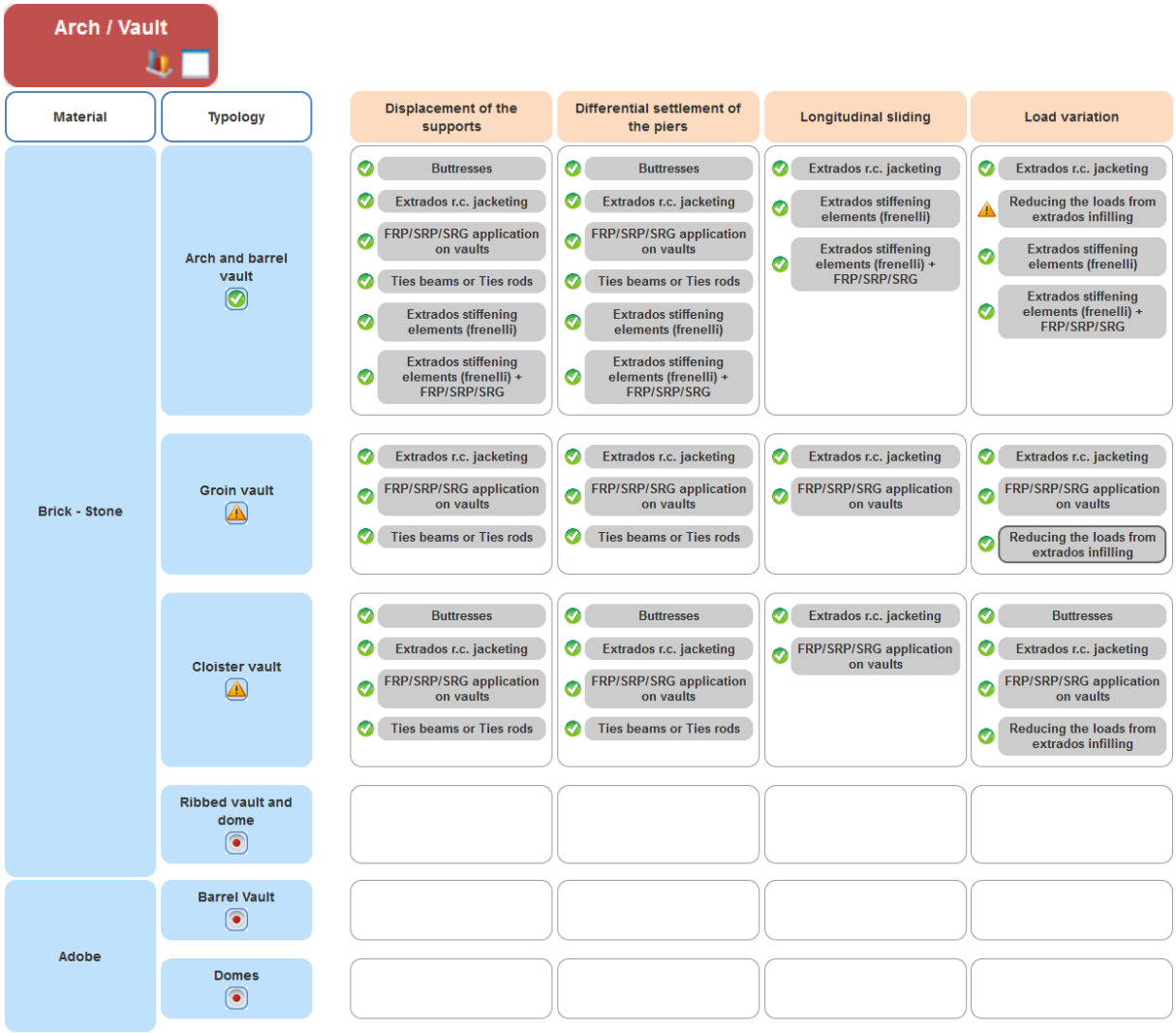


Figura 204: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "arco / volta"

6.1.5 Elemento costruttivo "colonne"

6.1.5.1 *I meccanismi di collasso*

Sono stati definiti 7 meccanismi di collasso per le colonne. Le figure seguenti illustrano gli schemi e gli indicatori di rendimento prestazionale propri di ciascun meccanismo.

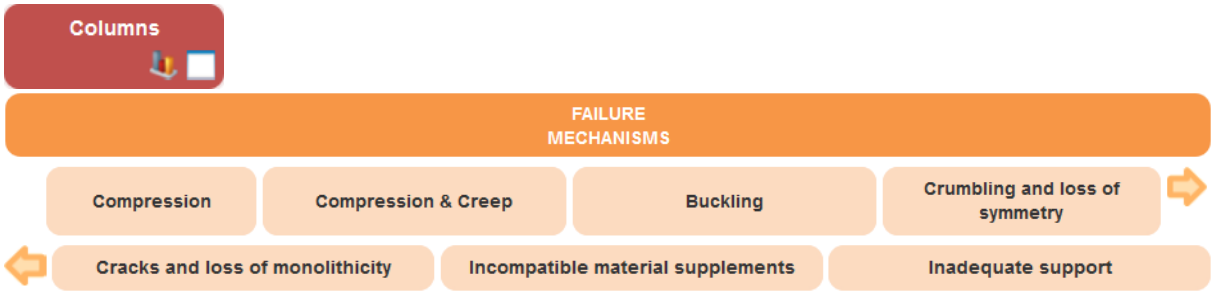


Figura 205: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "colonnato"

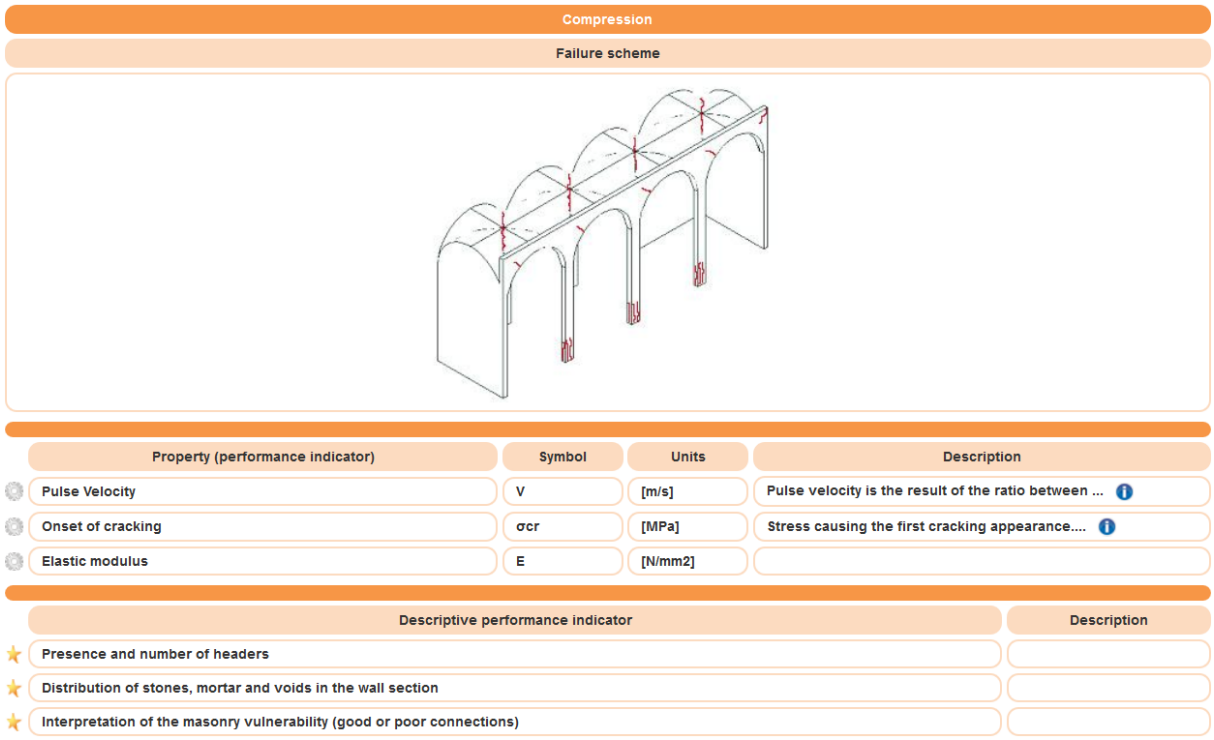


Figura 206: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

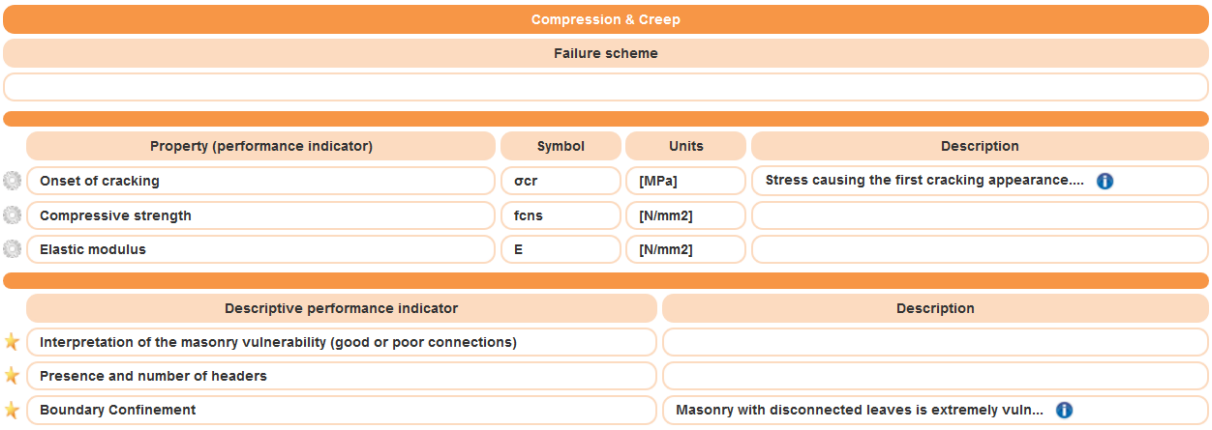


Figura 207: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro"

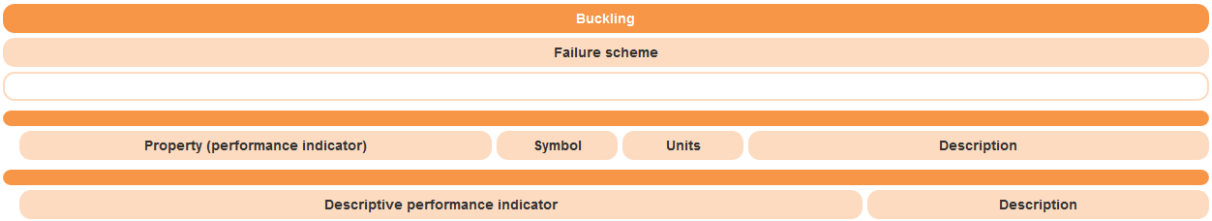


Figura 208: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro"

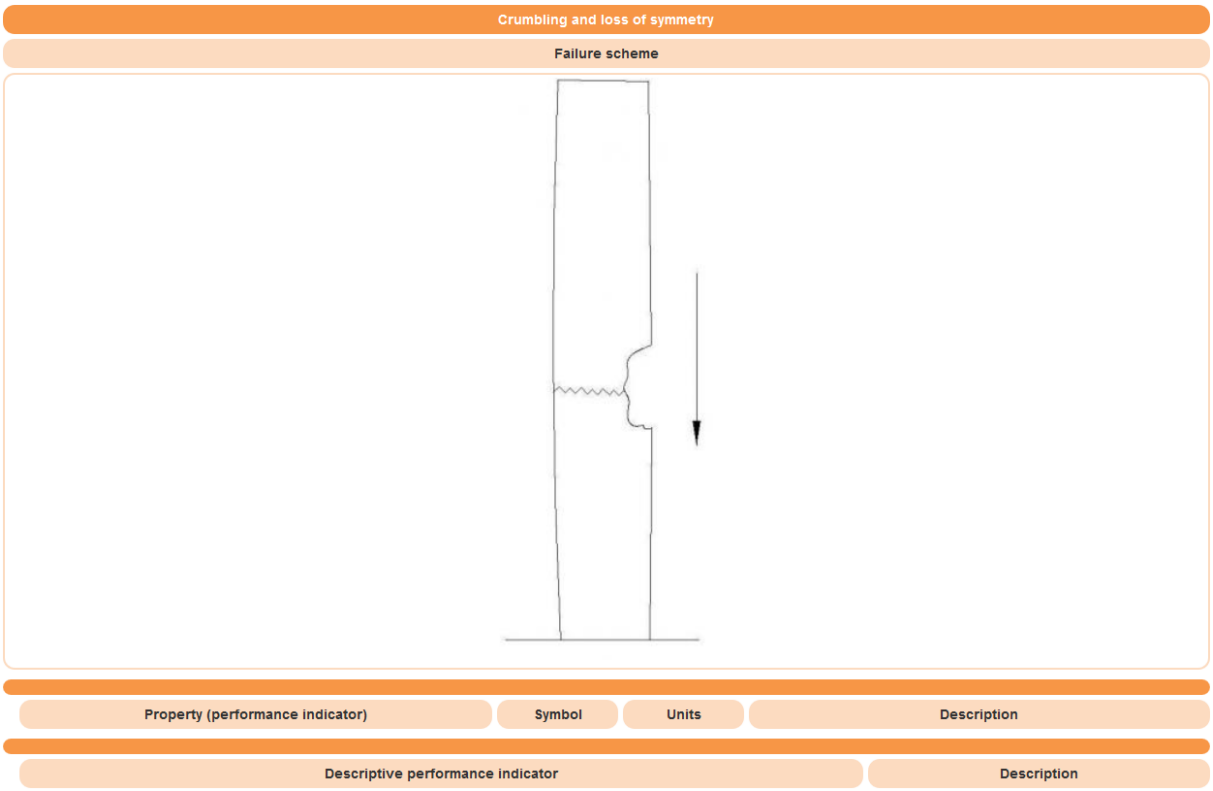


Figura 209: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro"

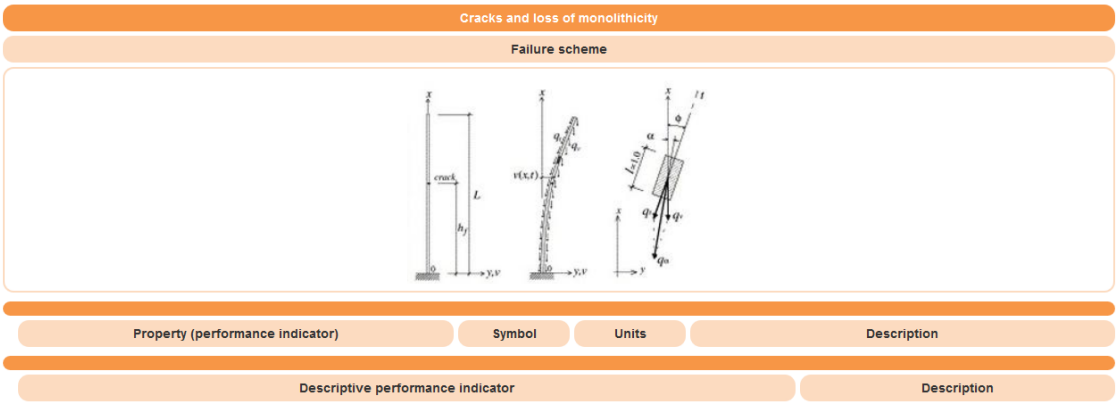


Figura 210: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

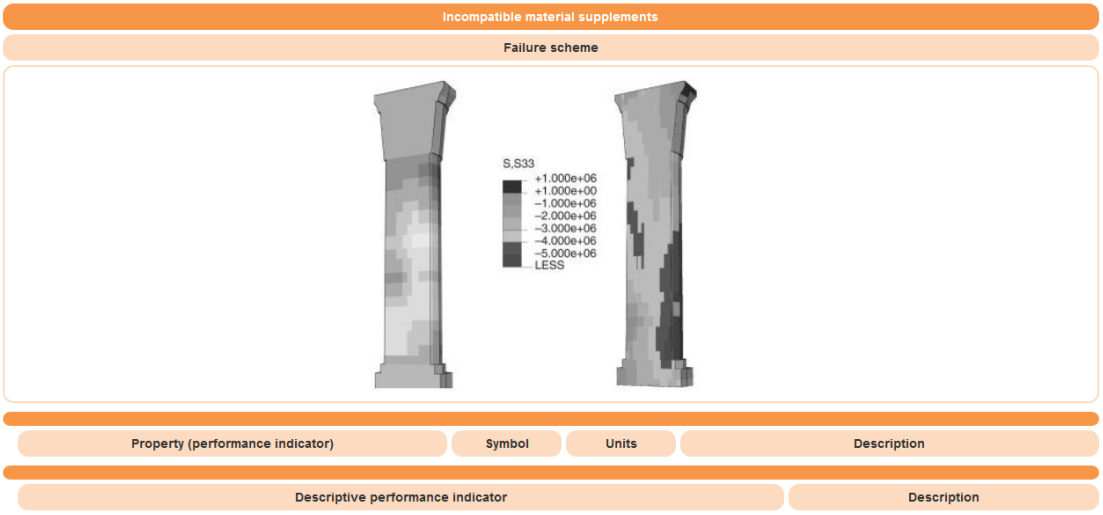


Figura 211: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro"

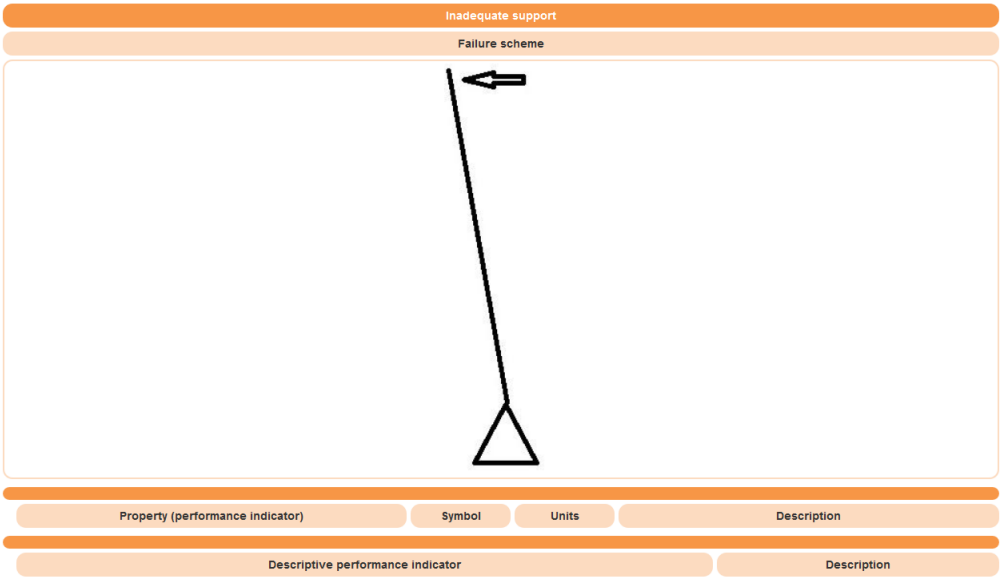


Figura 212: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.5.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*

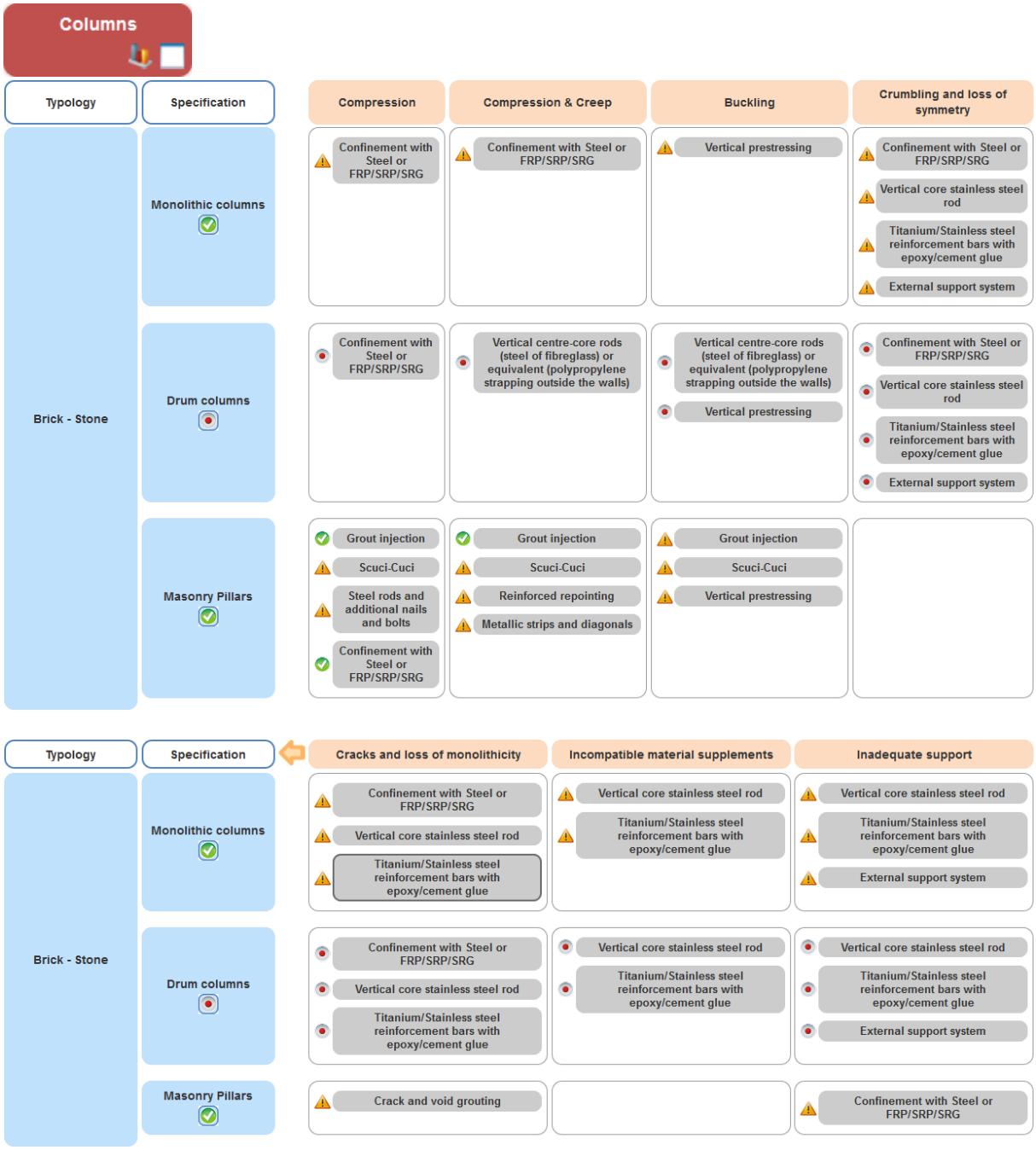


Figura 213: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "colonne"

6.1.6 Elemento costruttivo "connessioni"

6.1.6.1 *I meccanismi di collasso*

È stato definito 1 meccanismi di collasso per le connessioni. La figura seguente illustra lo schema e gli indicatori di rendimento prestazionale propri del meccanismo.

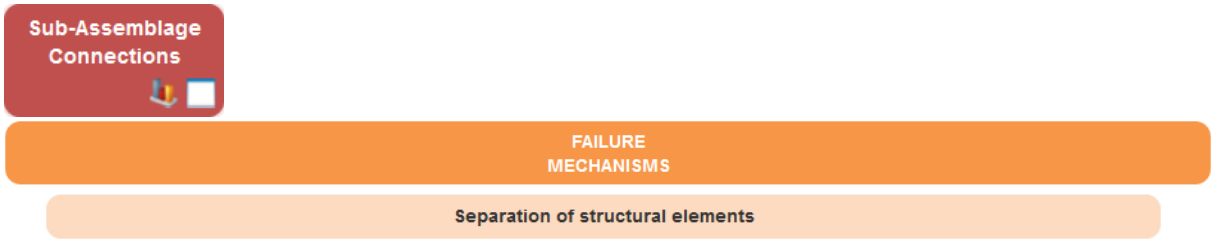


Figura 214: I meccanismi di collasso definiti nel "data wharehouse" per l'elemento costruttivo "connessioni"

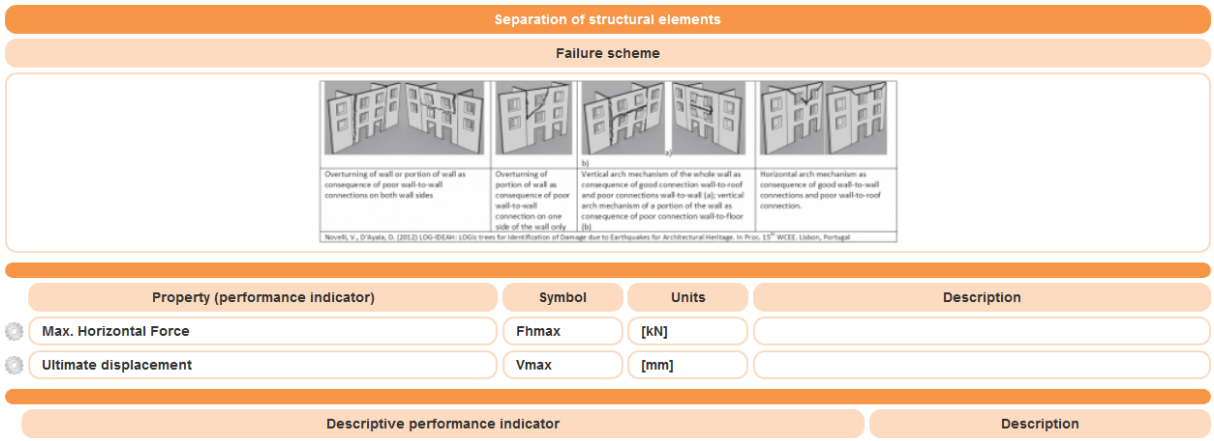
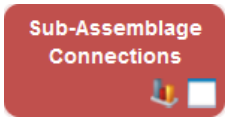


Figura 215: Schema e indicatori di rendimento prestazionale per il meccanismo "rottura nel piano" per l'elemento costruttivo "muro"

6.1.6.2 *Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi*



Elements	Typology	Separation of structural elements
Connection horizontal to vertical structure	Connection between (stone/brick) masonry walls and floor/roof structures	Reinforced masonry ring beam LATLAM Steel ring beam Metallic connectors timber joists to wall Cross-ties/anchors with end plate Cross ties/anchors without end plate Shock Transmission Units (STUs) Shape Memory Alloy Devices (SMADs)
	Connection between stonework wall and timber floor	Metallic anchor with end plate and steel angle
	Timber laced connections in rubble infill stonework building	
	Connection between earthen walls and floor/roof structures	Metallic connectors timber joists to wall Wall plates External wall plates/Timber bands Continuous ledger and lag screws Perimeter horizontal cable Viscous dampers
Connection vertical to vertical structure	Connection between orthogonal (brick/stone) masonry walls	Scuci-Cuci Cross-ties/anchors with end plate Cross ties/anchors without end plate Column-ties Corner confinement by composite materials RAG energy absorbers Rotation amplifying energy absorber RETE energy absorber
	Connection between orthogonal stonework walls	Ductile anchor plates
	Corner connection between orthogonal brickwork walls	Cross ties/anchors without end plate Hysteretic anchor dissipative device Frictional anchor dissipative device

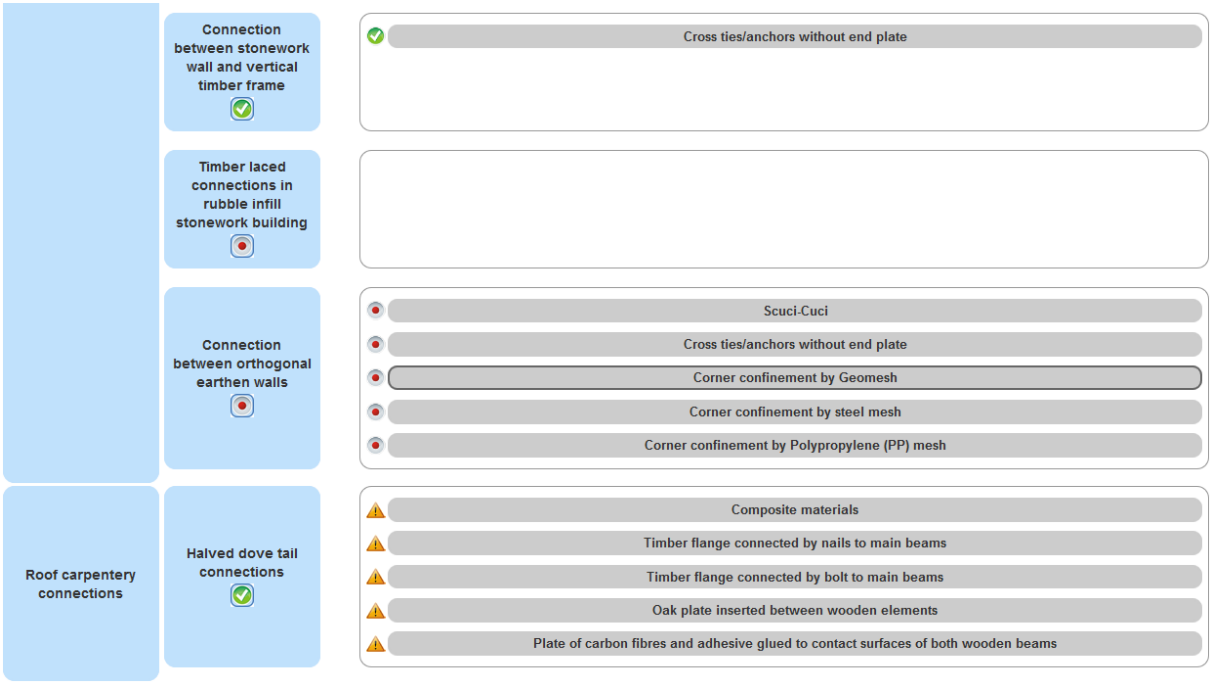


Figura 216: Gli interventi associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi per l'elemento costruttivo "connessioni"

6.2 *LE INDICAZIONI FORNITE DAL "DATA WAREHOUSE"*

6.2.1 Valutazioni sul grado di conoscenza

Uno dei vantaggi che la particolare struttura del "data warehouse" NIKER offre è quello di permettere una valutazione quasi immediata delle lacune conoscitive e della conseguente necessità di approfondimenti sia applicativi che di ricerca in aree ben precise.

Per ricavare questa informazione, è stato affiancato un particolare simbolo grafico sia a ciascuna tipologia di materiale, sia a ciascun intervento associato alla coppia tipologia di materiale – meccanismo di collasso, come riportato nella Tabella 31 del paragrafo 5.5.

Questa tecnica permette di stabilire visivamente se sono stati definiti i parametri caratteristici di un dato materiale e se per tali parametri sono stati inseriti valori numerici pre e post intervento. Si nota così, ad esempio, la quasi totale mancanza di valori dei parametri post intervento nelle murature in terra (**Figura 181**), l'ottima disponibilità di informazioni per le volte in pietra e laterizio, oppure la totale mancanza di valori sulle volte in "adobe" (**Figura 204**).

La Tabella 33 e la Tabella 34 riassumono, ad oggi, il livello di conoscenza e le eventuali carenze di dati disponibili suddivisi per elemento costruttivo e tipologia del materiale, come ricavato dalla distribuzione dei simboli in **Figura 181**, **Figura 190**, **Figura 198** e **Figura 204**. La definizione delle valutazioni è riportata in Tabella 32.

La valutazione post-intervento è fatta esclusivamente sulla presenza di valori che caratterizzano il materiale dopo l'intervento. Nella valutazione pre-intervento si è cercato di tenere in considerazione anche eventuali lacune legate alla scarsità o, in alcuni casi, all'assenza totale di parametri definiti (**Figura 219**, **Figura 220**, **Figura 221** e **Figura 222**).

Occorre senz'altro puntualizzare che questo tentativo di valutazione sui parametri ha il solo scopo di fornire indicazioni di massima su possibili necessità di approfondimento. Dal momento che le carenze sono dovute principalmente alla difficoltà di reperire dati in letteratura, una valutazione negativa deve rappresentare uno stimolo sia nel coinvolgere il numero più ampio possibile di esperti nell'uso del sistema, sia ad approfondire i campi di indagine. Se da un lato, infatti, il "data warehouse" ha la pretesa di essere uno strumento di ausilio alla ricerca, senza la ricerca tale strumento non può funzionare.

Tabella 32: Definizione dei livelli di valutazione sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal "data warehouse"

Giudizio conoscitivo pre-intervento (presenza di valori ed eventuale assenza di parametri)	
Ottimo	I parametri sono definiti e tutti o quasi (90-100%) hanno valori inseriti
Molto buono	I parametri sono definiti e molti o quasi tutti (80-90%) hanno valori inseriti
Buono	I parametri sono definiti e più della metà dei parametri (60-80%) ha valori inseriti
Sufficiente	I parametri sono definiti e sono più i parametri per i quali sono inseriti valori che quelli per i quali non sono inseriti (50-60%)
Insufficiente	I parametri sono definiti ma sono più i parametri per i quali sono non inseriti valori che quelli per i quali sono inseriti (30-50%)
Scarso	Sono presenti valori per pochissimi parametri tra quelli definiti (0-30%)
Nullo	Non è presente alcun parametro (0%)
Giudizio conoscitivo post-intervento (presenza di valori)	
Ottimo	Sono presenti valori per ciascun intervento o quasi (90-100%)
Molto buono	Sono presenti valori per la maggior parte degli interventi (80-90%)
Buono	Sono presenti valori per molti interventi (60-80%)
Sufficiente	Sono più gli interventi per i quali sono inseriti valori che quelli per i quali non sono inseriti (50-60%)
Insufficiente	Sono più gli interventi per i quali non sono inseriti parametri e valori che quelli per i quali sono inseriti (30-50%)
Scarso	Sono presenti valori per pochissimi interventi (0-30%)
Nullo	Nessun parametro ha valori definiti (0%)

Tabella 33: Riepilogo sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal "data warehouse" suddivisa per materiale

Materiale	**Livello conoscitivo pre-intervento**	**Livello conoscitivo post-intervento**
Muratura in pietra	Molto buono / Ottimo	Insufficiente / Sufficiente
Muratura in laterizio	Molto buono	Insufficiente / Sufficiente
Muratura in adobe	Ottimo	Sufficiente / Buono
Muratura in terra a struttura omogenea	Molto buono / Ottimo	Scarso / Insufficiente
Muratura rinforzata con legno	Molto buono / Ottimo	Insufficiente
Solai in legno	Buono	Insufficiente
Solai in acciaio	Scarso	Scarso / Insufficiente
Coperture in legno	Insufficiente	Scarso
Coperture in acciaio	Nullo	Nullo
Archi e volte in pietra o laterizio	Insufficiente / Buono	Molto buono
Archi e volte in "adobe"	Nullo	Nullo
Colonne in pietra o laterizio	Molto buono	Scarso
Connessioni di elementi verticali con elementi orizzontali	Scarso	Scarso
Connessioni tra elementi verticali	Insufficiente	Scarso / Insufficiente
Connessioni delle coperture	Molto buono	Scarso / Insufficiente

Tabella 34: Riepilogo sullo stato conoscitivo dei parametri ricavato dal "data warehouse" suddivisa per materiale e tipologia

Materiale	Tipologia	Livello conoscitivo pre-intervento	Livello conoscitivo post-intervento
Muratura in pietra	Paramento singolo	Molto buono / Ottimo	Insufficiente / Sufficiente
	Paramento multiplo	Ottimo	Insufficiente / Sufficiente
Muratura in laterizio	Paramento singolo	Molto buono	Insufficiente / Sufficiente
	Paramento multiplo	Molto buono / Ottimo	Insufficiente / Sufficiente
Muratura in adobe	"Adobe"	Ottimo	Sufficiente
Muratura in terra a struttura omogenea	Terra battuta ("pisé")	Molto buono	Scarso / Insufficiente
	"Cob"	Ottimo	Scarso / Insufficiente
Muratura rinforzata con legno	Muratura con intelaiatura lignea	Ottimo	Insufficiente
	Muratura in pietra con cordoli o cerchiature lignee	Molto buono / Ottimo	Scarso / Insufficiente
Solaio in legno	Unidirezionale	Ottimo	Molto buono
	Bidirezionale	Scarso	Scarso / Insufficiente
Solaio in struttura metallica	Travi metalliche e volte in laterizio	Scarso	Scarso / Insufficiente
Copertura in legno	Struttura non spingente – trave inflessa	Insufficiente	Scarso
	Struttura non spingente – trave senza flessione	Nullo	Nullo
	Struttura spingente	Scarso	Scarso
Copertura in acciaio	Struttura inflessa	Nullo	Nullo
Arco / Volta in pietra o laterizio	Volta ad arco o a botte	Ottimo	Buono
	Volta a crociera	Scarso	Ottimo
	Volta a padiglione	Scarso	Ottimo
	Volta a crociera gotica e cupola	Nullo	Nullo
Arco / Volta in "adobe"	Volte a botte	Nullo	Nullo
	Cupola	Nullo	Nullo
Colonne in pietra o laterizio	Colonne monolitiche	Ottimo	Scarso
	Colonne a conci	Nullo	Nullo
	Pilastri in muratura	Ottimo	Insufficiente
Connessioni di elementi verticali con elementi orizzontali	Connessione tra muro in pietra o laterizio e solaio o copertura	Nullo	Scarso
	Connessione tra muro in pietra ed elemento ligneo	Molto buono / Ottimo	Scarso
	Connessione lignea in edifici in pietra di materiale incoerente	Nullo	Scarso
	Connessione tra muro in terra e solaio o copertura	Nullo	Scarso
Connessioni tra elementi verticali	Connessione tra muri di mattoni in pietra o laterizio ortogonali	Nullo	Nullo
	Connessione tra muri in pietra non squadrata ortogonali	Insufficiente	Ottimo
	Connessione ad angolo tra muri in mattoni	Ottimo	Ottimo
	Connessione tra muro in pietra e pannello ligneo verticale	Nullo	Nullo
	Connessione lignea in edifici in pietra di materiale incoerente	Nullo	Nullo
	Connessione tra muri in terra ortogonali	Nullo	Nullo
Connessioni delle coperture	Connessioni a mezza coda di rondine	Ottimo	Scarso / Insufficiente

Quello che risulta subito evidente guardando le valutazioni riportate in tabella è come la ricerca sul comportamento delle costruzioni storiche soggette ad eventi sismici sia solo agli inizi e come vi sia ancora molto da investigare e approfondire.

6.2.2 Validazione grafica dei dati inseriti

La generazione di grafici in forma dinamica può essere usata sia per verificare la ragionevolezza dei dati inseriti, sia per cercare nuove correlazioni tra i parametri in gioco.

La validazione dei dati inseriti deriva da un confronto tra il valore dei parametri di resistenza prima e dopo l'intervento. La **Figura 217** mostra come la resistenza a compressione per una muratura in laterizio multi-strato sia in media aumentata, soddisfacendo le aspettative. Occorre sempre tenere presente, comunque, che il confronti dei parametri deve essere considerato come indicativo se in fase di generazione del grafico si sceglie il metodo di correlazione dei dati diverso da quello manuale, in cui la scelta di quali valori legare tra loro è effettuata dall'utente dato per dato.

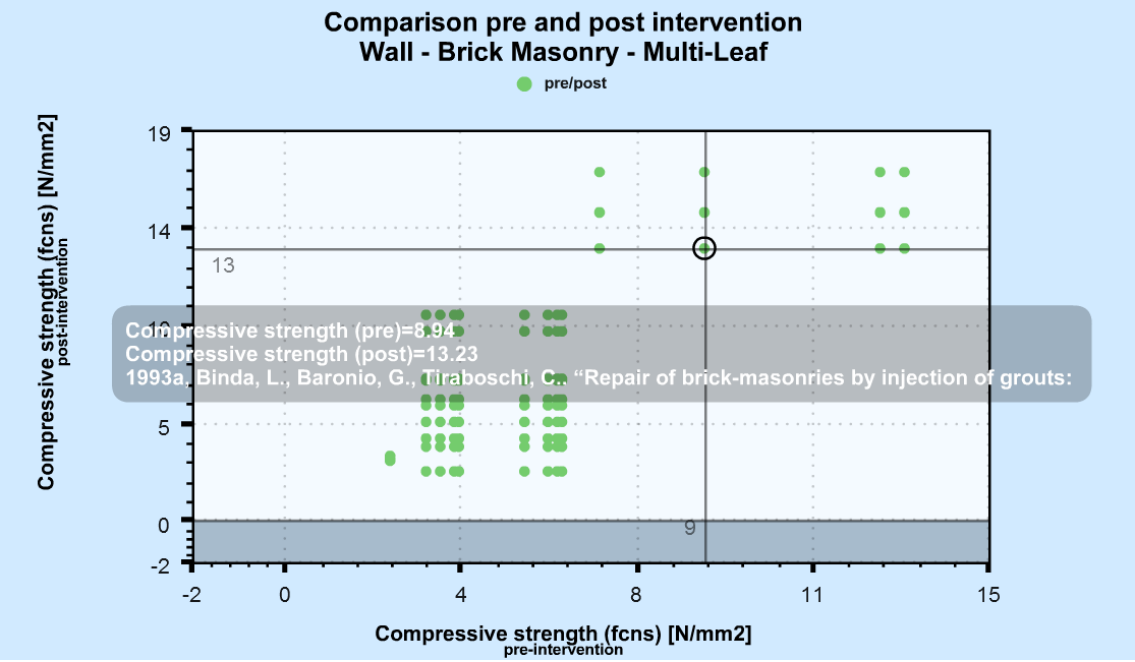


Figura 217: Esempio di confronto tra i valori di un parametro prima e dopo gli interventi (resistenza a compressione per la muratura multistrato in laterizio)

Un confronto analogo tra le situazioni precedenti e successive agli interventi può essere fatto anche considerando i rapporti tra i parametri.

La **Figura 218** mostra come varia il rapporto tra carichi ultimi e spostamenti ultimi per gli archi e le volte.

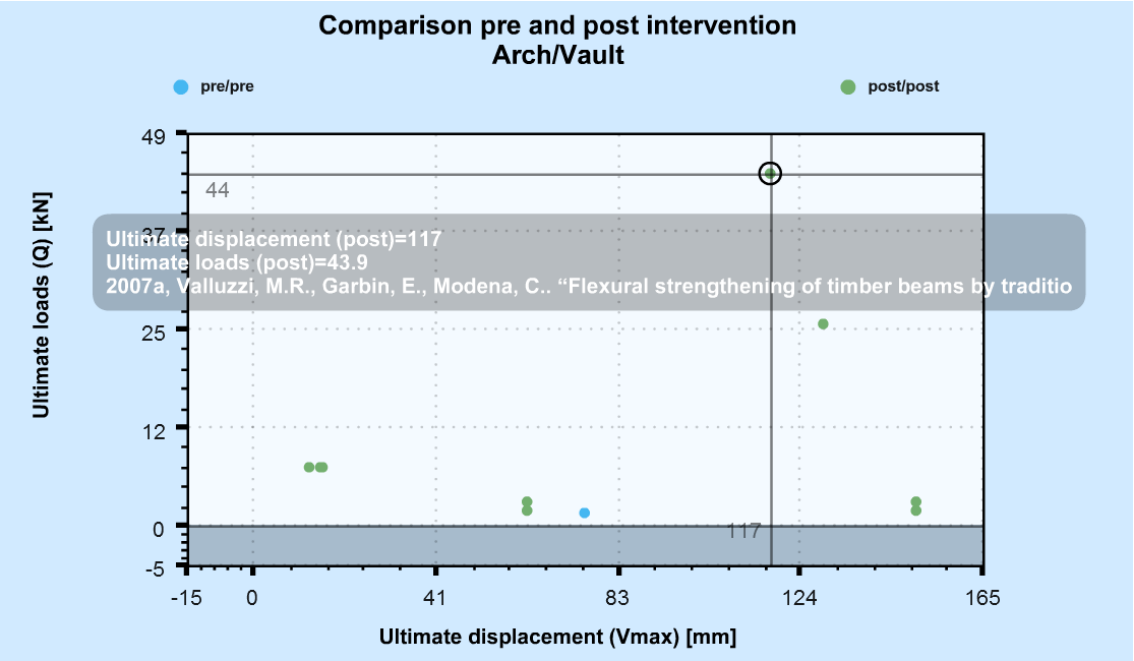


Figura 218: Confronto della relazione tra di valori di due parametri prima e dopo gli interventi (spostamento ultimo in relazione ai carichi ultimi per archi e volte)

In generale, però, la quantità di valori numerici inseriti è insufficiente per poter fare delle considerazioni generali sui parametri che non siano solo qualitative. Questo rappresenta comunque un dato rilevante messo in evidenza dal "data warehouse".

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha riguardato la raccolta, la riorganizzazione e l'analisi dei dati riguardanti gli edifici storici soggetti ad azioni sismiche già disponibili in letteratura in modo frammentato e non strutturato, raccogliendole in un sistema informativo di nuova concezione, con il duplice scopo di fornire uno strumento di supporto professionale per la scelta degli interventi ottimali e uno strumento di supporto alla ricerca in grado sia di fornire indicazioni sul livello conoscitivo dello stato dell'arte, sia di generare nuove e differenti correlazioni tra i parametri caratteristici delle murature e del loro comportamento meccanico.

Il progetto è parte integrante del Progetto Europeo NIKER (New Integrated Knowledge-based approaches to the protection of cultural heritage from Earthquake-induced Risk), nato su iniziativa di un gruppo di ricerca dell'Università di Padova con lo scopo di supplire sia alle lacune relative alla conoscenza tecnica del comportamento sismico dei manufatti storici, sia alla mancanza di uno strumento adeguato per la gestione pratica di tale conoscenza.

La prima parte del lavoro è stata dedicata alla semplificazione delle categorie in gruppi dal comportamento statico più o meno omogeneo, e questo rappresenta un primo risultato prezioso, di non semplice attuazione nel complesso e variegato panorama delle costruzioni storiche. Sono state così individuate 4 tipologie generali di manufatti, caratterizzate da differenti combinazioni di vulnerabilità e, più in dettaglio, 6 elementi costruttivi, per ciascuno dei quali sono stati individuati i materiali e le tipologie tipiche delle costruzioni storiche.

L'attività successiva, esposta nel capitolo 2, ha permesso di fissare i parametri ed i requisiti di progetto per lo sviluppo di materiali e tecniche per il consolidamento strutturale, nonché i livelli di "prestazione" necessari per una progettazione avanzata degli interventi.

Tale concetto di progettazione basata sulla prestazione è ampiamente accettato per le strutture esistenti nuove o di non interesse storico e rappresenta la base per le moderne procedure di progettazione. Il "data warehouse" contribuisce a fornire i dati tecnici per definire il comportamento della struttura e per progettare gli interventi minimi richiesti in relazione all'obiettivo di prestazione.

Per ciascun elemento strutturale si è passati quindi alla determinazione dei possibili meccanismi di collasso, raggruppandoli in categorie simili per dinamica e parametri coinvolti. Nella valutazione dei criteri per la suddivisione in categorie, è stata presa in considerazione anche l'omogeneità degli interventi in relazione alle categorie stesse; si è scelto dunque di accorpare meccanismi di collasso connessi a un intervento o a un medesimo gruppo di interventi. Questa scelta è stata determinata da una mediazione tra funzionalità dello strumento di analisi e correlazione e livello attuale di conoscenza dei meccanismi e agevola sia l'identificazione da parte degli utilizzatori dello strumento degli interventi più appropriati per la mitigazione del rischio dovuto ad una determinata categoria di meccanismi, sia il confronto tra i valori dei parametri per situazioni dal comportamento meccanico simile.

È estremamente importante ricordare che lo strumento è dinamico e che il livello di dettaglio delle informazioni contenute può essere modificato in qualsiasi momento. Nuovi meccanismi possono essere introdotti in qualsiasi momento, oppure derivare da una suddivisione di quelli esistenti nel momento in cui il livello di conoscenza lo richiedesse. La struttura è dunque determinata dai contenuti in modo dinamico, e questa dinamicità caratterizza lo strumento in ogni sua parte e rappresenta una soluzione altamente innovativa.

Il quarto capitolo è stato dedicato alla sistematizzazione delle tecniche di intervento. Le indicazioni fornite dalle Linee Guida 2008 e dalle Carte del Restauro che si sono succedute negli anni si traducono in soluzioni pratiche di intervento che non sempre possono considerarsi standard, e la presenza tra i partecipanti al progetto di ditte private ha evidenziato fin da subito questo aspetto. È nata così l'esigenza di costruire un catalogo che raccogliesse in modo uniforme le informazioni relative agli interventi e che fosse funzionale alla struttura del nuovo sistema informativo.

La parametrizzazione delle informazioni e la loro organizzazione all'interno delle procedure di gestione del sistema informativo ha costituito un altro risultato di grande rilievo. Spesso, infatti, il problema dei sistemi di gestione e analisi di dati è l'effettiva fruibilità delle informazioni in esso contenute. L'innovativa struttura grafico-concettuale permette di soddisfare sia le esigenze dei progettisti, in cerca di uno strumento di supporto decisionale, sia dei ricercatori, che necessitano di un sistema che agevoli la loro attività atta all'individuazione di meccanismi e alla definizione di modelli di comportamento strutturale.

La correlazione tra le informazioni nel "data wharehouse", come è stato definito il sistema informativo, avviene su tre livelli di conoscenza. Ciascun livello coinvolge ambiti applicativi diversi e può essere considerato un risultato in sé.

Il primo livello riguarda la conoscenza delle connessioni tra le specifiche e i materiali degli elementi strutturali, i meccanismi di rottura e gli interventi giudicati più idonei a tale combinazione. Questo livello è estremamente utile in fase progettuale e risolve immediatamente le correlazioni in modo grafico.

Il secondo livello riguarda il collegamento tra i parametri che caratterizzano le tipologie degli elementi, gli indicatori di rendimento prestazionale coinvolti nei meccanismi di rottura e i parametri sui quali possono avere influenza gli interventi.

Il terzo livello riguarda la correlazione tra i valori dei parametri prima e dopo un intervento, intendendo come condizione pre-intervento quella di normale esercizio dell'elemento strutturale. Questo livello di conoscenza è strettamente legato alle attività sperimentali e di modellazione dal momento che i valori derivano dai risultati di tali attività presenti in letteratura. La necessità di legare i valori dei parametri alle pubblicazioni, poi, ha imposto la creazione di un catalogo elettronico che rappresenta, seppur nella sua semplicità, un altro risultato del lavoro.

Per offrire uno strumento dinamico e altamente versatile utile sia in fase di verifica che di analisi e ricerca, è stato creato un sistema integrato e interattivo per la generazione automatica di grafici. Questo strumento consente all'utilizzatore esperto di scegliere quali parametri correlare tra loro e con quali criteri. Sono state predefinite 5 tipologie di grafico e 6 tipologie di operazioni tra i parametri. Nuove funzionalità potranno essere agevolmente aggiunte in caso di richieste specifiche e non previste.

L’analisi sistematica dello stato dell’arte ha permesso di individuare, anche grazie ad una accurata gestione grafica delle informazioni, gli aspetti della conoscenza del costruito storico esistente che ancora necessitano di approfondimento. Il “data warehouse” ha messo in evidenza come la ricerca, nel campo delle strutture storiche, abbia intrapreso un corretto orientamento metodologico, ma si dimostri ancora giovane. Ci si augura che il ribadirlo possa contribuire al finanziamento di nuovi studi.

I partecipanti al progetto europeo triennale NIKER, membri di 18 tra istituzioni e aziende, hanno utilizzato questo strumento per raccogliere e sistematizzare i dati provenienti dalle loro recenti ricerche, contribuito alla sua validazione e collaudo, fornendo, al tempo stesso, preziose indicazioni per il suo sviluppo.

Oltre ad aver evidenziato le carenze di indagine conoscitiva di alcune tipologie strutturali, il “data warehouse” ha mostrato come la quantità di valori dei parametri in gioco derivanti da indagini in situ, da sperimentazioni in laboratorio o da modellazioni numeriche siano ancora in numero insufficiente per fare delle valutazioni globali e per ricercare nuove correlazioni tra i parametri stessi. In ogni caso lo strumento in grado di agevolare queste analisi ora è a disposizione e l’auspicio è che venga utilizzato e che sia di supporto alla progettazione e alla ricerca.

Il “data warehouse” NIKER è uno strumento disponibile pubblicamente in rete, sia per la consultazione, sia, limitatamente ad alcuni utenti selezionati, per la gestione dei dati. Questo lo rende uno strumento “vivo”, con la possibilità di evolversi al passo con le future ricerche, a patto che venga mantenuto aggiornato nei contenuti. Maggiore sarà la quantità di dati disponibili, infatti, meglio il sistema potrà fornire informazioni sulle loro possibili correlazioni.

Esso presenta carattere di innovazione in quanto mira ad integrare la metodologia di approccio alle costruzioni esistenti con soluzioni pratiche per i casi reali.

RINGRAZIAMENTI

Affrontare un secondo Dottorato di Ricerca in età adulta non è semplice, e vorrei ringraziare tutti quelli che hanno sostenuto questa mia scelta e coloro che lo hanno reso possibile.

Maria Rosa fa parte di entrambi questi due gruppi e a lei, come sempre da parecchi anni in qua, va il mio primo, grande e sincero ringraziamento. Suo è il merito di aver intuito la necessità di questo lavoro, suo quello di aver accettato la sfida di avermi come dottorando e suo quello di esserci sempre stata.

Grazie dal profondo del cuore a Pasqua, per esserci sempre e per la sua capacità di andare sempre oltre e avermi sostenuto a prescindere, in ogni momento e situazione.

Un grazie speciale va a Elena, compagna di vita nel periodo del Dottorato, per avermi ricaricato giornalmente e avere reso, così, tutto più facile.

Grazie di cuore ai miei genitori, per il loro continuo supporto e senza i quali questo lavoro non avrebbe mai visto la luce.

Grazie ad Andrea, per la sua continua capacità di sostenermi moralmente e professionalmente; la sua arte ha reso più prezioso questo lavoro.

Un grazie particolare agli amici Alessia, Laura, Marino, Michela, Francesco e Giuseppe, per il sostegno continuo di questi anni.

Desidero ringraziare Francesco Pesavento e Gianmaria Concheri, Professori del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Padova, per il sostegno morale che hanno continuato a regalarmi durante tutto il periodo del Dottorato.

Il mio più vivo ringraziamento va a Francesca da Porto e al Prof. Claudio Modena del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Padova, per avermi coinvolto con fiducia nel progetto NIKER affidandomi una parte di sviluppo importante, e a tutti i partecipanti coinvolti, che hanno condiviso dati ed esperienze, contribuendo in modo fondamentale ai contenuti e al collaudo del sistema.

Un sentito grazie a Filippo Lorenzoni, Paolo Girardello e Nicola Mazzon per il supporto scientifico e la collaborazione durante lo sviluppo e la verifica del sistema.

Un caro ringraziamento va anche a Lorenzo Cantini e Antonella Saisi del Politecnico di Milano, per i preziosi suggerimenti e il sapiente supporto sia in fase di realizzazione del lavoro che nella fase finale di stesura della tesi.

BIBLIOGRAFIA

ABBANEO, S., BARONIO, G., BINDA, L., TIRABOSCHI, C. (1993). *Murature in pietra: classificazione ed indagini preliminari per la scelta e la progettazione delle miscele per l'iniezione*. Convegno "Murature, Sicurezza, Recupero", Trento, pp. 185-222.

ABBANEO, S., BERRA, M., BINDA, L., FATTICCIONI, A. (1995). *Non destructive evaluation of bricks-masonry structures: calibration of sonic wave propagation procedures*. Int. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), BAMM, Berlino, 1, 253-260

ABRUZZESE, D., LANNI, G. (1999). *Some Developments on the Lateral Strength of Historical Reinforced Vaulted Buildings*. VI International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings - STREMAH, Dresa, Germania, Vol. 1.

ABRAHAM, P. (1934). *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*, Paris, Vincent, Fréal & Cie.

AHNERT, R., KRAUSE, K.H. (1991). *Typische baukonstruktionen von 186bis 1960*. Verlag fur Bauwesen, Berlin, p. 112.

ALBERTI, L.B. (1784). *I Dieci Libri di Architettura tradotti in Italiano da Cosimo Bartoli*. Stamperia di Giovanni Zempel, Roma.

ANGELETTI, P., BORRI, A., LONGHI, F., NASINI, U., SEVERI, A. (2004). *La legge 18/2002 della Regione dell'Umbria sulla prevenzione sismica*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, 25-29 gennaio 2004, Genova.

ANGOTTI, F., ASCIONE, L., BARATTA, A., CECCOLI, C., COSENZA, E., GIANGRECO, E., JAPPELLI, R., MACERI, F., MAZZOLANI, F.M., PINTO, P.E., POZZATI, P., SOLARI, G., URBANO, C., ZANON, P. (2005). *Studi Preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*. CNR, Roma.

ARGUMEDO, R.S. (1993). *Metodologia para a restauração de casas históricas construidas com adobe em Cusco, Peru*. In: Alçada M. (ed.), Proceedings of 7a conferência internacional sobre e estudo e conservação da arquitectura de terra = 7th International conference of the study and conservation of earthen architecture, Silves, Portogallo, DGEMN, 285-295.

AVORIO, A., BORRI, A., CORRADI, M. (2002a). *Ricerche per la ricostruzione. Iniziative di carattere tecnico e scientifico a supporto della ricostruzione. Regione Umbria*. DEI, Roma.

AVORIO, A., BORRI, A., DE MARIA, A. (2002b). *Sisma umbro-marchigiano del settembre 1997 e successivi a Sellano: comportamento di una schiera di edifici consolidati*. Ingegneria Sismica, No. 2.

BARBISAN, U., LANER, F. (1995). *I solai in legno.* Franco Angeli, Milano.

BARBISAN, U. (1997). *I solai in legno e laterizio*. Costruire in laterizio, No. 57.

BARONIO, G., BINDA, L. (1982). *Durabilità dei mattoni pieni in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche*. II Congresso 'Il Mattone di Venezia', Ed. Ist. della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Venezia, pp. 1-32.

BARONIO, G., BINDA, L., SAISI, A. (2000). *Mechanical and Physical Behaviour of Lime Mortars Reproduced After the Characterisation of Historic Mortar*. RILEM Int. Workshop on Historic Mortars: Characteristics & Tests, Eds. P. Bartos, C. Groot, J.J. Hughes, RILEM Publ., ISBN 2-912143-15-2, pp. 307-325.

BERNARDINI, A., GORI, R., MODENA, C. (1988). *Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica*, Rapporto Interno 2/88 – Università di Padova – Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni

BINDA, L., BARONIO, G. (1984a). *Indagine sull'aderenza tra legante e laterizio in malte ed intonaci di 'cocciopesto'*. Congresso: 'Intonaci colore e coloriture dell'edilizia storica', Min. dei Beni Culturali, Roma, pp. 109-114.

BINDA, L., BARONIO, G. (1984b). *Measurement of the Resistance to Deterioration of Old and New Bricks by Means of Accelerated Aging tests*. J. Durability of Building Materials, n. 2, Ed. Elsevier, Amsterdam, Paesi Bassi, pp. 139-154

BINDA, L., BARONIO, G. (1985). *Alteration of the Mechanical Properties of Masonry Prisms due to Aging*. 7th IBMaC, Melbourne, Australia, vol. 1, pp. 605-616.

BINDA, L., BARONIO, G. (1988a). *Survey of Brick/Binder Adhesion in 'Powdered Brick' Mortars and Plasters*. Masonry Int. J., vol.2, n.3, pp. 87-92.

BINDA, L., BARONIO, G., FONTANA, A., FRIGERIO, G. (1988b). *Experimental study on decayed brick-masonries strengthened by grouting*. Interim Report, 2nd USA-ITALY Workshop on Evaluation and Retrofit of Masonry Structures, USA, pp. 111-122.

BINDA, L., FONTANA, A., ANTI, L. (1991). *Load transfer in multiple leaf masonry walls*. 9th Int. Brick/Block Masonry Conf., Berlino, Germania, vol. 3, pp.1488-1497.

BINDA, L., GATTI, G., MANGANO, G., POGGI, C., SACCHI LANDRIANI, G. (1992). *The collapse of the Civic Tower of Pavia: a survey of the materials and structure*. Masonry International, No. 6, pp. 11-20.

BINDA, L., BARONIO, G., TIRABOSCHI, C. (1993). *Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research.* Journal of Structural Engineering, Madras, India, vol. 20 n.1, pp. 29-44.

BINDA, L., MODENA, C., BARONIO, G., ABBANEO, S. (1997). *Repair and investigation echniques for stone masonry walls*. Construction and Building Materials, Vol. 11, N.3, pp. 133-142.

BINDA, L., BARONIO, G., PENAZZI, D., PALMA, M., TIRABOSCHI, C. (1999a). *Characterization of stone masonry walls in seismic areas: data-base on the masonry sections and materials investigations*. L'ingegneria Sismica in Italia, 9th National Conference, Torino, 14 pp., in CD-ROM.

BINDA, L. MODENA, C., VALLUZZI, M.R., ZAGO, R. (1999b). *Mechanical effects of bed joints steel reinforcement in historic brick masonry structures*. Proc. 8th Inter. Conference Structural, Faults and Repair, London, UK, 13-15 luglio, (CD-Rom).

BINDA, L., TEDESCHI, C., BARONIO, G. (1999c). *Mechanical behaviour at different ages, of masonry prisms with thick mortar joints reproducing a byzantine masonry*. 8NAMC (North American Masonry Conf.), Austin, USA, pp. 382-392, CD-ROM.

BINDA, L., SAISI, A., TIRABOSCHI, C. (2000a). *Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries*. Construction and Building Materials, Vol. 14, No. 4, pp. 199-233.

BINDA, L. (2000b). *Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione*. CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, pp. 181.

BINDA, L., PENAZZI, D., SAISI, A. (2003a). *Historic Masonry Buildings: Necessity of a Classification of Structures and Masonries for the Adequate Choice of Analytical Models*. VI International Symposium Computer Methods in Structural Masonry - STRUMAS, Roma, 22-24 settembre, pp. 168-173.

BINDA, L., CARDANI, G., PENAZZI, D., SAISI, A. (2003b). *Performance of some repair and strengthening techniques applied to historical stone masonries is seismic areas*. ICPCM a New Era of Building, Cairo, Egitto, 18-20 febbraio, Vol. 2, pp. 1195-1204.

BINDA, L., CARDANI, G., SAIASI, A., MODENA, C., VALLUZZI, M.R., MARCHETTI, L. (2004). *Guidelines for Restoration and Improvement of Historical Centers in Seismic Regions: the Umbria Experience*. Proc. IV Int. Seminar "Structural Analysis of Historical Constructions", Padova 10-12/11/2004, Vol. 2, pp. 1061-1068.

BINDA, L., SAISI, A. (2005a). *State of the Art of the Research on Historic Structures in Seismic Areas in Italy*. Structural Engineering and Materials, Bashasan, USA, Vol. 7, No. 2, pp. 71-85.

BINDA, L., TEDESCHI, C., CARDANI, G. (2005b). *The Role of Mortar Joints in The Mechanical Behaviour of Masonry Structures*. RILEM Workshop Repair Mortars for Historic Masonry – Pro067, Delft, January 26-28 2005, ISBN: 978-2-35158-083-7, Ed. C. Groot. pp. 35-46, 2009.

BINDA, L., CARDANI, G., SAISI, A., VALLUZZI, M.R. (2006a). *Vulnerability analysis of the historical buildings in seismic areas by a multilevel approach*. Asian Journal of Civil Engineering (building and housing) vol. 7, no. 4.

BINDA, L. (2006b). *Allegato 1 - Scheda sezioni murarie (vuota)*. Progetto di ricerca n. 1, Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura, rendicontazione scientifica 1°anno, Report ReLUIS, novembre.

BINDA, L. (2006c). *Allegato 2 - Scheda sezioni murarie (esempio compilato)*. Progetto di ricerca n. 1, Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura, rendicontazione scientifica 1° anno, Report ReLUIS, novembre.

BINDA, L., CARDANI, G., SAISI, A., VALLUZZI, M.R., MUNARI, M., MODENA, C. (2007). *Multilevel approach to the vulnerability analysis of historic buildings in seismic areas, Part 1: Detection of parameters for the vulnerability analysis through on site and laboratory investigations*. Journal Restoration of Building and Monument, Vol. 13, No. 6, pp. 413-426.

BINDA, L. (2008). *Learning from failure; long-term behaviour of heavy masonry structures*. WIT Press, Southampton-Boston.

BINDA, L., CONDOLEO, P., SAISI, A., TARANTO, P., ZANZI, L. (2009a). *Combined non-destructive techniques to assess the structural safety of a medieval tower*. Conference Protection of Historical Buildings - PROHITECH, Roma, 21-24 giugno, pp. 827-833.

BINDA, L., CARDANI, G., SAISI, A. (2009b). *A classification of structures and masonries for the adequate choice of repair*. Repair Mortars for Historic Masonry, RILEM, Delft, Paesi Bassi, pp 20-34.

BINDA, L., SAISI, A., DE VENT, I.A.E., VAN HEES, R.P.J., NALDINI, S. (2010). *Structural Damage in Masonry: Description and Interpretation*. Patterns as Basis for Finding the Damage Causes, Restoration of Buildings and Monuments, Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, Vol. 16, No. 2, pp. 1-22.

BLASI, C., BORRI, A., DI PASQUALE, S., MALESANI, P., NIGRO, G., PARDUCCI, A., TAMPONE, G. (1999). *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici*. Regione dell'Umbria, editore Gurrieri F., DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

BOITO, C. (1893). *La restauration en architecture*. In: Boito C., Conserver ou restaurer? Les dilemmes du patrimoine. Parigi, Les Etitions de l'Imprimeur, p. 30.

BORRI, A., AVORIO, A., CANGI, G. (1999a). *Considerazioni sui cinematismi di collasso osservati per edifici in muratura*. IX Convegno Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Torino.

BORRI, A., AVORIO, A., CANGI, G. (1999b). *Riparazione e consolidamento degli edifici in muratura*. Regione dell'Umbria, F. Gurrieri, Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici. DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

BORRI, A., CANGI, G. (2004a). *Vulnerabilità ed interventi di prevenzione sismica nei centri storici umbri dell'alta Val Tiberina*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Genova, 25-29 gennaio.

BORRI, A., GRAZINI, A. (2004b). *Criteri e metodologie per il dimensionamento degli interventi con FRP nel miglioramento sismico degli edifici in muratura*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Genova, 25-29 gennaio.

BORRI, A. (2006). *Proposta di una metodologia per la valutazione della qualità muraria*. Progetto di ricerca n. 1, Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura, rendicontazione scientifica 1°anno, Report ReLUIS, novembre 2006.

BORRI, A., DE MARIA, A. (2009). *Eurocode 8 and italian code. A comparison about safety levels and classification of interventions on masonry existing buildings*. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 3 Aprile, Napoli, pp. 237-246.

BOSILJKOV, V., PAGE, A., BOKAN-BOSILJKOV, V., ZARNIC, R. (2003). *Performance based studies on in-plane loaded unreinforced masonry walls*. Masonry International, Vol. 16, No. 2, pp.39-50.

BRANDI, C. (1963). *Teoria del Restauro*. Piccola Biblioteca Einaudi, Torino.

BUI, Q.B., MOREL, J.C. (2009). *Assessing the anisotropy of rammed earth*. In: Walker, P., Ghavami, K., Paine, K., Heath, A., Lawrence, M. & Fodde, E. (eds.), Proceedings of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009). Bath, UK. University of Bath.

BURNS, H. (1998). *Leon Battista Alberti*. In: Storia dell'architettura italiana, Il quattrocento, a cura di Francesco Paolo Fiore. Ed. Electa, Milano.

CALDERINI, C., CATTARI, S., LAGOMARSINO, S. (2009). *In-plane strength of unreinforced masonry piers*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 38, pp. 243-267.

CALECA, L., DE VECCHI, A. (1999). *Tecnologie di consolidamento delle strutture murarie*. Dario Flaccovio Editore.

CANGI, G. (2009). *Murature tradizionali e terremoto - Analisi critica del danno come presupposto per il recupero e la ricostruzione dell'edilizia storica danneggiata dal sisma in Abruzzo*. ARCo – Associazione per il Recupero del Costruito. Restaurare dopo Terremoto. 27 novembre 2009. Facoltà di Architettura, Università di Pescara.
http://www.uniroma2.it/didattica/PARE/deposito/Reportage_Abruzzo_-_prof_Giovanni_Cangi.pdf (ultima visita 18/01/2014)

CANTINI, L., DA PORTO, F., GIACOMETTI, G., LORENZONI, F., SAISI, A., VALLUZZI, M.R. (2012). *Creation of a structured catalogue*. 8th Int. Conf. on Structural Analysis of Historic Constructions (SAHC12), Wroclaw, Poland.

CARBONARA, G. (1996). *Restauro Architettonico*. UTET, Torino.

CARBONARA, G. (1997). *Avvicinamento al Restauro*. Liguori, Napoli.

CARBONARA, G. (2004). *Atlante del restauro*. UTET, Torino.

CARDANI, G. (2004). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Politecnico di Milano, Tesi PhD, supervisore: Prof. L. Binda.

CAROCCI, C. (2001). *Guidelines for the safety and preservation of historical centres in seismic area*. III International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC03, Guimarães, Portogallo, 7-9 novembre, pp. 145-165.

CAROCCI, C., CERADINI, V., CREMONINI, I., PANZETTA, M. (2004), *Recupero e riduzione della vulnerabilità dei centri storici danneggiati dal sisma del 1997*. Ancona.

CARROLL, J.M. (1997). *Human-computer interaction: psychology as a science of design*. Int. J. Human-Computer Studies, 46, pp. 501-522.

CATTARI, S., RESEMINI, S., LAGOMARSINO, S. (2008). *Modelling of vaults as equivalent diaphragms in 3D seismic analysis of masonry buildings*. Structural Analysis of Historical Construction (Ed. D'Ayala & Fodde), 2-4 luglio, Bath, UK, Balkema, pp. 517-524.

CECCOTTI, A., FOLLESA, M., PIO LAURIOLA, M. (2007). *Le costruzioni di legno in zona sismica*. Seconda edizione. CLUT, Torino.

CESARIANO, C. (1521). *Di Lucio Vitruvio Pollione de architectura libri dece traducti de latino in vulgare affigurati: commentati et con mirando ordine insigniti*. Como, G. da Ponte.

CHEN, P.P. (1976). *The Entity-Relationship Model – Toward a Unifed View of Data*. ACM Transactions on Database Systems, vol. 1, no. 1, pp. 9-36.

CODD, E.F. (1970). *A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks.* Comm. ACM, 13, 6, giugno, pp. 377-387.

CODD, E.F. (1981). *Data Models in Database Management.* ACM SIGMOD Record, 11, 2, febbraio, pp. 112-114.

CODD, E.F. (1982). *Relational Database: A Practical Foundation for Productivity.* Comm. ACM, 25, 2, febbraio, pp. 109-117.

CODD, E.F. (1990). *The Relational Model for Database Management*. Addison-Wesley Publishing Company.

COEN (2001). Comité de Emergencia Nacional, Government of El Salvador. *Crónicas de Desastres - Terremotos en El Salvador*, No. 11

CÓIAS E SILVA, V. (2002). *Using advanced composites to retrofit Lisbon's old "seismic resistant" timber framed buildings*. European Timber Buildings as an expression of Technological and Technial Cultures, Elsevier.

COMO, M., LANNI, G., SACCO, E. (1991). *Sul calcolo delle catene di rinforzo negli edifici in muratura soggetti ad azione sismica*. VII Convegno Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Palermo.

CONVENZIONE UNESCO 14 maggio 1954 (l'Aja, 1954). *Misure per la protezione dei BBCC in caso di conflitto armato*.
http://www.archeologi-italiani.it/documenti/legislazione/obblighi%20internazionali/Trattato%20AJA.pdf (ultima visita 14/01/2014)

CORPUS (2010). *Traditional Mediterranean Architecture, A7: Mud brick walls*. Meda CORPUS project, financed by the MEDA programme of the European Union.
http://www.meda-corpus.net (ultima visita 18/01/2014)

COX, B.J. (1986). *Object oriented programming*. Addison-Wesley.

CURIONI, G. (1868). *L'arte di fabbricare, ossia Corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gli Ingegneri, per Periti in Costruzione e pei Periti Misuratori*. Torino.

D'AYALA, D., SPERANZA, E. (1999a). *Identificazione dei meccanismi di collasso per la stima della vulnerabilità sismica di edifici nei centri storici*. IX Convegno Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, Torino.

D'AYALA, D. (1999b). *Correlation of seismic vulnerability and damages between classes of buildings: Churches and houses.* In: Seismic Damage to Masonry Buildings. Balkema, Rotterdam, pp. 41-58.

D'AYALA, D., BAJRACHARYA, S. (2003a). *Traditional Nawari house in Kathmandu Valley*. Housing Report. Nepal.
http://www.world-housing.net (ultima visita 18/01/2014)

D'AYALA D., SPERANZA E. (2003b). *Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings*. Earthquake Spectra, No. 19, pp. 479-509.

D'AYALA, D., KHANSAL, A. (2004a). *Analysis of the Seismic Vulnerability of the Architectural Heritage in Bhuj, Gujarat, India*. IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC04, Padova.

D'AYALA, D., YEOMANS, D. (2004b). *Assessing the seismic vulnerability of late Ottoman buildings in Istanbul*. IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC04, Padova, pp. 1111-1119.

D'AYALA, D. (2006). *Seismic Vulnerability and Conservation Strategies for Lalitpur Minor Heritage*. Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, USA, pp. 120-134.

D'AYALA, D., TOMASONI, E. (2008). T*he Structural Behaviour of Masonry Vaults: Limit State Analysis with Finite Fiction*. International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC08, Bath, Regno Unito, Vol. 1.

D'AYALA, D. (2009). *Seismic Vulnerability and Conservation Strategies for Lalitpur Minor Heritage*. Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium, pp.120-134.

D'AYALA, D., PAGANONI, S. (2010). *Assessment and Analysis of Damage in L'Aquila Historic City Centre after 6th April 2009*. In print for special issue of the Bulletin of Earthquake Engineering.

DE FELICE, G., TERENZI, P., TOCCI, C. (1999). *Criteri di progetto nel recupero strutturale*. In: Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo, Laterza, Bari

DE VITA, M. (2012). *Verso il restauro. Temi, tesi, progetti per la conservazione*. Firenze University Press.

DIERKS, K., STEIN, R. (2002). *Ein Bemessungskonzept für tragende Stampflehmwände*. In: KirchBauhof (ed), Moderener Lehmbau 2002. Stuttgart.

DOGLIONI, F., Moretti, A., Petrini, V. (1994). *Le chiese ed il terremoto*. LINT, Trieste.

DOGLIONI, F. (1999). *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*. A cura di F. Doglioni, Bollettino Ufficiale Regione Marche.

DOGLIONI, F., MAZZOTTI, P. (2007). *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico*. Regione Marche.

DONGHI, D. (1905). *Manuale dell'architetto*. Torino.

DRDÁCKÝ, M., SLÍŽKOVÁ, Z. (2005). *Damage and failures of historic materials and structures from natural hazards*. (invited key lecture), Proc. 2nd Int. Conf. on Hazards and Modern Heritage (N.Avramidou, B.Maio (eds.)), ISBN 960-87851-2-X, pp.19-28, Kos.

EEFIT (1982). *The Erzincan, Turkey Earthquake of 13 March 1992 – A field report by EEFIT*. Earthquake Engineering Field Investigation Team, The Institution of Structural Engineers, Londra.

EGERMANN, R., MAYER, K. (1989). *Die Entwicklung der Ziegelherstellung und ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Mauerziegeln*. In: Wenzel, F. (ed), Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke - Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe, pp. 107-130, Berlino, Germania, Ernst & Sohn.

EL HARROUNI, K. (2005). *Reducing Vulnerability of the Cultural Heritage by Rediscovering and Re-evaluating Local Seismic Cultures*, Discussion paper in Proceedings Cultural Heritage Risk Management, World Conference on Disaster Reduction, Ritsumeikan University, Research Center for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage, Kyoto, Giappone, pp 177-180.

EL HARROUNI, K. (2008). *Récupération de la Culture Sismique Locale Applicable au Patrimoine Bâti*, Revue de l'ALINSAP, Patrimoine Marocain, Thématique "Restauration et Conservation du Patrimoine Culturel Marocain", No 1.

EM-DAT. *The International Disaster Database*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED
http://www.emdat.be (ultima visita 14/01/2014)

FEILDEN, B.M. (1982). *Conservation of Historic Buildings*. Taylor & Francis

FEMA P695 (2008). *Quantification of building seismic performance factors*. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, Redwood City, California, USA, aprile 2008.

FERNANDES, F., LOURENÇO, P. B. (2007). *Evaluation of the compressive strength of ancient clay bricks using microdrilling*. Journal of Materials in Civil Engineering 19(9), pp. 791-800.

FERRINI, M., MELOZZI, A., PAGLIAZZI, A., SCARPARO, S. (2003). *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura*. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello. Versione modificata dalla Regione Toscana, Regione Toscana.

GARRETT, J.J. (2005). *Ajax: A New Approach to Web Applications*. Web paper. Adaptive Path Ideas. 18 febbraio.
http://www.adaptivepath.com/ideas/ajax-new-approach-web-applications

GIACOMETTI, G., PANIZZA, M., VALLUZZI, M.R. (2012). *A data warehouse on the strengthening of masonry structures with composite materials*, 6th Int. Conf. on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2012), Roma.

GIORDANO, G. (1993). *Tecnica delle costruzioni in legno*. Terza edizione, Hoepli, Milano.

GIOVANETTI, F. (1998). *Manuale del Recupero: Città di Castello*. DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

GIUFFRÈ, A. (1991). *Letture sulla meccanica delle murature storiche*. Kappa, Roma.

GIUFFRÈ, A. (1993). *Sicurezza e conservazione dei centri storici in area sismica, il caso Ortigia*. Laterza, Bari.

GIUFFRÈ, A., CARROCCI, C. (1999). *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*. Laterza, Bari.

GIURIANI, E., MARINI, A., PORTERI, C., PRETI, M. (2007). *Meccanismo di rocking degli archi diaframma e vulnerabilità sismica delle chiese*. Technical Report n. 7, Università di Brescia.

GOSAIN, N., ARYA, A.S. (1967). *A Report on Anantnag Earthquake of February 20*. Bulletin Of the Indian Society of Earthquake Tecbnology (fn4), No. 3, settembre.

GRIMM, W.D. (1990). *Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland*. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 50. München.

GURRIERI, F. (1999). *Regione dell'Umbria - Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici*. DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

HEYMAN, J. (1995). *The Stone Skeleton*. Cambridge University Press.

HOUBEN, H. and GUILLAUD, H. (1994). *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. ITDG Publishing, Londra, Regno Unito.

HOUSNER, G.W. (1963). *The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes*. Bulletin of the Seismological Society of America, 53(2), 403-417.

HUANG HANMIN, L.Y. (1991). *Fujian Tulou: Treasure of Chinese Traditional Residential*. Fotografie di Li Yuxiang Huang Hanmin.

HURD, J. (2006). *Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions of Central Asia and Trans-Himalaya*. The Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, pp. 101-108.

ICOMOS (2003). *Carta ICOMOS – Principi per l'Analisi, la Conservazione e il Restauro Strutturale del Patrimonio Architettonico*. Ratificato dalla XIV[a] Assemblea Generale dell'ICOMOS a Victoria Falls – Zimbabwe, Ottobre 2003.
http://iscarsah.icomos.org/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=70

INMON, W.H. (1992). *Building the Data Warehouse*. Wiley.

JAQUIN, P.A., AUGARDE, C.E., GERRARD, C.M. (2007). *Historic rammed earth structures in Spain: construction techniques and a preliminary classification*. In Venkatarama Reddy, B. V. & Mani, M. (eds.), International Symposium on Earthen Structures. Bangalore, India. Interline Publishing.

JAQUIN, P.A. (2008a). *Analysis of historic rammed earth construction*. School of Engineering. University of Durham. Tesi PhD.

JAQUIN, P.A. (2008b). *Study of historic rammed earth structures in Spain and India*. The Structural Engineer. Volume 86 Issue 2. Gennaio.

JURINA, L. (2004). *Tecniche innovative nel consolidamento di capriate e solai in legno*. In: Atti del seminario internazionale C.I.A.S. "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni", Crociera sul Mediterraneo, 26 settembre - 3 ottobre 2004.

KIYONO, J., KALANTARI, A. (2004). *Collapse Mechanism of Adobe and Masonry Structures during the 2003 Iran Bam Earthquake*. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Vol. 79, pp. 157-161.

LAGOMARSINO, S., BRENCICH, A., BUSSOLINO, F., MORETTI, A., PAGNINI, L.C., PODESTÀ, S. (1997). *Una nuova metodologia per il rilievo del danno alle chiese: prime considerazioni sui meccanismi attivati dal sisma*. Ingegneria Sismica, No. 3, pp. 70-82.

LAGOMARSINO, S. (1998a). *Seismic damage survey of the churches in Umbria*. Workshop on Seismic Performance of Monuments, Lisbona, Spagna, pp. 167-176.

LAGOMARSINO, S. (1998b). *A new methodology for the post-earthquake investigation of ancient churches*. XI European Conference on Earthquake Engineering, Parigi, Francia, p. 67.

LAGOMARSINO, S., PODESTÀ, S.(2004a). *Seismic Vulnerability of Ancient Churches: I. Damage Assessment and Emergency Planning*. Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 2, pp. 377-394.

LAGOMARSINO, S., PODESTÀ, S., RESEMINI, S., CURTI, E., PARODI, S. (2004b). *Mechanical models for the seismic vulnerability assessment of churches*. IV International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC04, Padova, Vol. 2, pp. 1091-1101.

LAGOMARSINO, L., RESEMINI, S. (2009). *The Assessment of Damage Limitation State in the Seismic Analysis of Monumental Buildings*. Earthquake Spectra, Vol. 25, No. 2, pp. 323-346.

LAWRENCE, M., HEATH, A., WALKER, P., MORTON, T. (2009). *Development of unfired clay brick systems for sustainable construction. Project* TP/5/SUS/6/I/H0192J. Final report.

LICCIARDI, G. (2008). *Architettura in terra cruda: Arg-e-Bam (Iran) e la sua scuola cranica - valutazione dei danni causati dal sisma del 2003 ed indirizzi per la conservazione*. Politecnico di Milano, PhD Tesi. Supervisore: Prof. L. Binda.

MAGALHÃES, A., VEIGA, R. (2009). *Physical and mechanical characterisation of historic mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*. Materiales de Construcción 59(295): 61-77.

MAGENES, G, CALVI, GM. (1992). *Cyclic behaviour of brick masonry walls*. X World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, pp. 3517-3522.

MAGENES, G., CALVI, G.M. (1997). *In-plane seismic response of brick masonry walls*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, pp 1091-1112.

MAIERHOFER, CH., KÖPP, CH., BINDA, L., ZANZI, L., RODRÍGUEZ SANTIAGO, J., KNUPFER, B., JOHANSSON, B., MODENA, C., DA PORTO, F., MARCHISIO, M., GRAVINA, F., FALCI, M., GALVEZ RUIZ, G.C., TOMAŽEVIČ, M., BOSILJKOV, V., HENNEN, CH., LORENTE TOLEDO, D.E., ZAJC, M., DELLI PAOLO, S., DRDÁCKÝ, M., VÁLEK, J. (2006). *On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings*. Project report, ISBN 92-894-9601-0, European Commission, EUR 21696 EN, 141 p., Lussemburgo.

MANIERI ELIA, G. (2010). *Metodo e tecniche del restauro architettonico*. Edizioni Carrocci, Roma.

MARINI, A., GIARDINA, G., RIVA, P., GIURIANI, E. (2008). *Seismic Behaviour of Barrel Vault Systems*. VIII International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC08, Bath, UK, Vol. 1.

MAYES, R.L., CLOUGH, R.W. (1975). *State-of-the-art in seismic shear strength of masonry-an evaluation and review*. Report No. EERC 75-21, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI (1967). *Atti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio, Commissione Franceschini*.
http://www.icar.beniculturali.it/biblio/pdf/Studi/franceschini.pdf (ultima visita 14/01/2014)

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI (2010). Circolare n. 26/2010. *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni*. d.m. 14 gennaio 2008.

MINKE, G. (2006). *Building with Earth Birkhäuser*. Basilea.

MOHCA (2011). *Brief report on damages to rammed earth structures in Bhutan from the September 18, 2011 earthquake*. Division for Conservation of Heritage Sites, Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs, Government of Bhutan.

MODENA, C., VALLUZZI, M.R. (2001). *Repair And Upgrading Techniques Of Historic Masonry Buildings: Researches And Applications*. 7th Int. Conf. on "Inspection, appraisal, repairs and maintenance of buildings and structures", 11-13 September 2001, Nottingham-Trent University Campus, Regno Unito.

MODENA, C., VALLUZZI, M.R., FOLLI, T.R., BINDA, L. (2002). *Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell-tower*. Construction and Building Materials, Special Issue, Elsevier Science Ltd., 16, pp. 385-395.

MODENA, C., VALLUZZI, M.R., BINDA, L., CARDANI, G., SAISI, A. (2004). *Vulnerability of historical centres in seismic area: reliability of assessment methods for different building typologies*. XIII International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, Paesi Bassi, 4-7 luglio.

MODENA, C., VALLUZZI, M.R., DA PORTO, F., CASARIN, F., MUNARI, M., MAZZON, N., PANIZZA, M. (2008). *Assessment and improvement of the seismic safety of historic constructions: research and applications in Italy*. I Congreso Iberoamericano sobre Construcciones Históricas y Estructuras de Mampostería, Bucaramanga, Colombia, 30 luglio – 1 agosto.

MODENA, C., VALLUZZI, M.R., DA PORTO, F., CASARIN, F., GARBIN, E., MUNARI, M., MAZZON, N., PANIZZA, M., DALLA BENETTA, M., BETTIOL, G. (2009a). *Intervention criteria for historic masonry constructions subjected to seismic actions*. Conservation News, 26/2009.

MODENA, C., CASARIN, F., DA PORTO, F., GARBIN, E., MAZZON, N., MUNARI, M., PANIZZA, M., VALLUZZI, M.R. (2009b). *Structural Interventions On Historical Masonry Buildings: Review Of Eurocode 8 Provisions In The Light Of The Italian Experience*. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, pp. 225-236. E. Cosenza (ed), Doppiavoce, Napoli.

MODENA, C., DA PORTO, F., VALLUZZI, M.R. (2012a). *Conservazione del patrimonio architettonico e sicurezza strutturale in zona sismica: insegnamenti dalle recenti esperienze italiane*. Materiali e Strutture, Problemi di Conservazione. Nuova serie, anno I (2012), 1-2. Università di Roma "La Sapienza".

MODENA, C., DA PORTO, F., VALLUZZI, M.R. (2012b). *Sicurezza strutturale, conservazione e valorizzazione dei beni archeologici, architettonici e storico-artistici*. INGENIO n. 6.
http://www.ingenio-web.it/Articolo/339/Sicurezza_strutturale__conservazione_e_valorizzazione_dei_beni_archeologici__architettonici_e_storico_artistici.html (ultima visita 20/01/2014)

MODENA, C., DA PORTO, F., VALLUZZI, M.R., Munari, M. (2013). *Criteria And Technologies For The Structural Repair And Strengthening Of Architectural Heritage*. Int. Journal of 3 R's, Vol. 4, n. 10, pp. 606-621.

MÜLLER, U., GARDEI, A., MASSAH, S., MENG, B. (2008). *Hydraulische Bindemittel (Hydraulic binders)*. In: Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland (ed), Denk-mal an Beton!: 9-21. Petersberg: Michael Imhof Verlag.

MÜLLER, U. (2002). *Material analysis of adobe samples*. Report Chan Chan Peru, The Getty Institute.

MÜLLER, U., RÖHLEN, U. (2011). *Standardisierung von nicht genormten innovativen Lehmbauprodukten – StandardLehm*. Abschlussbericht zum MNPQ-Projekt 24/07 vom Zeitraum 3/2009 bis 2/2010.

MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

MUNAFÒ, P. (2002). *Le capriate lignee antiche per i tetti a bassa pendenza. Evoluzione – Dissesti – Tecniche di Intervento*. Alinea Editrice, Firenze.

NEVE, A. (1885). *Thirty Years in Kashmir.* Edward Arnold, Londra, Regno Unito.

NIKER (2009). New Integrated Knowledge-based approaches to the protection of cultural heritage from Earthquake-induced Risk. Project n° 244123. 2009 – 2012.
http://www.niker.eu (ultima visita 14/01/2014)

NTUA/EPPO (2005). National Technical University of Athens (NTUA) / Earthquake Protection and Planning Organization (EPPO). *Investigation of timber reinforced masonry*. Research Rep., E. Vintzileou, P. Touliatos, and E. Tsakanika.

ONSITEFORMASONRY, Project EVK4-2001-00091, EC FP5 RTD, "On Site Investigation Techniques for the Structural Evaluation of Historic Masonry Buildings".

PARLAMENTO ITALIANO (1999). Decreto Legislativo 29 ottobre 1999, n. 490. Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, a norma dell'articolo 1 della legge 8 ottobre, n. 352. Pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 302 del 27 dicembre 1999 - Supplemento Ordinario n. 229

http://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/99490dl.htm (ultima visita 14/01/2014)

PARISI, M.A., PIAZZA, M. (2000). *Mechanics of Plain and Retrofitted Traditional Timber Connections.* Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 12, pp. 1395-1403.

PAULA, R., CÓIAS E SILVA, V. (2006). *Rehabilitation of Lisbon's old "seismic resistant" timber framed buildings using innovative techniques*. COST E29.

PICCIRILLI, C. (1989). *Consolidamento critico e sue premesse storico-strutturali*. Monografia. ed. Multigrafica, Roma.

REGIONE DELL'UMBRIA, L.R. 23 Ottobre 2002 n° 18. Allegato tecnico pubblicato sul BUR del 30 Luglio 2003. "Norme tecniche per la progettazione degli interventi e la realizzazione delle opere di cui alla LEGGE REGIONALE 23 Ottobre 2002, n.18 finalizzate alla riduzione della vulnerabilità sismica"

RELUIS (2005). Dipartimento della Protezione Civile, Progetto ReLUIS-DPC 2005-2008 (Attuazione Accordo di Programma Quadro Dipartimento Protezione Civile-ReLUIS del 15/03/2005).

http://www.reluis.it (ultima visita 14/01/2014)

RÖHLEN, U., ZIEGERT, C. (2010). *Lehmbau-Praxis*. Bauwerk-Verlag, Berlin.

RONDELET, J.B. (1834). *Trattato teorico pratico sull'arte di edificare*. Mantova.

ROSELUND, N. (1990). *Repair of cracked adobe walls by injection of modified mud*. In: Grimstad, K. (ed.), Proceedings of 6th international conference on the conservation of earthen architecture: Adobe 90 preprints, Las Cruces, New Mexico, Getty Conservation Institute, 336-341.

RUSKIN, J. (1989). *The Seven Lamps of Architecture* (Paperback). Dover Publications.

SAISI, A., VALLUZZI, M.R., BINDA, L., MODENA, C. (2004). *Creep Behavior of Brick Masonry Panels Strengthened by the Bed Joints Reinforcement Technique Using CFRP Thin Strips*. Proc. IV Int. Seminar "Structural Analysis of Historical Constructions", Padova 10-12/11/2004, Vol. 2, pp. 837-846.

SCHÄFER, J., HILSDORF, H. K. (1993). *Struktur und Mechanische Eigenschaften von Kalkmörteln*. In: Wenzel, F. (ed), Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke – Baugefüge, Konstrukionen, Werkstoffe: 65-76. Berlin, Germany: Ernst & Sohn.

SCHRÖDER, H. (2010). *Lehmbau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen*. Wiesbaden, Germany: Vieweg+Teubner.

SCHUBERT, P. (2009). *Eigenschaftenwerte von Mauerwerk, Mauersteinen, Mauermörtel und Putzen*. In: Jäger, W. (ed), Mauerwerk-Kalender 2009: 3-27. Berlin: Ernst & Sohn.

SEBASTIÁN, E., CULTRONE, G. (2010). *Technology of rammed-earth Constructions ("Tapial") in Andalusia (Spain): Their restoration and conservation*. In: Bostenaru-Dan, M., Pøikryl, R. & Török, A. (eds), "Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures", pp. 11-28, Springer Netherlands.

SEPE, V., SPERANZA, E., VISKOVIC, A. (2008). *A method for large-scale vulnerability assessment of historic towers*. Structural control and health monitoring, Vol. 15, pp. 389-415.

SHNEIDERMAN, B. (1980). *Software Psychology: Human Factors in Computer and Information Systems*. Cambridge, MA: Winthrop.

SILVEIRA, D., VARUM, H., COSTA, A., MARTINS, T., PEREIRA, H., ALMEIDA, J. (2012). *Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions*. Construction and Building Materials, No. 28, pp. 36-44

SOUSA OLIVEIRA, C., COSTA A., NUNES, J.C. (2008). *Sismo 1998 - Açores. Uma décadade pois.* Horta, Portugal.

SPERANZA, E. (2003). *An Integrated Method for the Assessment of the Seismic Vulnerability of Historic Buildings*. University of Bath, Tesi PhD.

TAMPONE, G. (2001). *Rappresentazione delle strutture di legno antiche*. Recupero e conservazione, No. 40, pp. 32-40.

TECHNOLOGY DIRECTORATE ARCHITECTURAL & ENGINEERING SERVICES (2000). *Guidelines for the seismic assessment of stone-masonry structures*. Real Property Services Branch. Public Works & Government Services Canada. Hull, Quebéc. K1A 0S5. Luglio 2000.

TEDESCHI, C. (2004). *Studio di malte storiche finalizzato al progetto di conservazione: malte da riparazione*. Politecnico di Milano, tesi di Dottorato, tutor: Prof. G. Baronio.

TOLLES, E.L. (1993). *Seismic retrofitting of historic adobes*. In: Alçada, M. (ed.), Proceedings of 7th international conference of the study and conservation of earthen architecture, Silves, Portogallo, DGEMN, 533-538.

TOLLES, E.L., WEBSTER, F.A., CROSBY, A., KIMBRO, E.E. (1996). *Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake*. The Getty Conservation Institute.

TOLLES, E.L., KIMBRO, E.E., GINELL, W.S. (2002). *Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures*. Los Angeles, The Getty Conservation Institute.

TOMAŽEVIČ, M. (2000). *Earthquake-resistant design of masonry buildings*. Imperial College Press, Londra, UK.

UNESCO (2007). *Manual for Restoration and Retrofitting of Rural Structures in Kashmir*. How to Reduce Vulnerability of Existing Structures in Earthquake Affected Areas of Jammu and Kashmir. UNESCO New Delhi Office, UNDP India.
http://kashmirdivision.nic.in/Disaster_Management/DM_Main.htm (ultima visita 18/01/2014)

VALLUZZI, M.R., VALDEMARCA, M., MODENA, C. (2001). *Behaviour of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates*. ASCE Int. J. of Composites for Construction, 5(3), 163-169.

VALLUZZI, M.R., DA PORTO, F., MODENA, C. (2004), *Behavior and modeling of strengthened three-leaf stone masonry walls*. RILEM Materials and Structures, MS 267 37, 184-192.

VALLUZZI, M.R., BINDA, L., MODENA, C. (2005). *Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing*. Construction and Building Materials, vol. 19, pp. 63-73.

VALLUZZI, M.R., MODENA, C. (2006). *Mechanical Behaviour Of Masonry Structures Strengthened With Different Improvement Techniques*. Fracture and Failure of Natural Building Stones, Springer, pp 137-156.

VALLUZZI, M.R., MUNARI, M., MODENA, C., BINDA, L., CARDANI, G., SAISI, A. (2007). *Multilevel approach to the vulnerability analysis of historic buildings in seismic areas, Part 2: Analytical interpretation of mechanisms for vulnerability analysis and structural improvement*. Journal Restoration of Building and Monument, Vol. 13, No. 6, pp. 427-441.

VALLUZZI, M.R. (2008). *Strengthening of masonry structures with Fiber-Reinforced Plastics: from modern conceptions to historical building preservation*. 6th Int. Conf. on Structural Analysis of Historic Constructions (SAHC08), Bath, UK, pp. 33-45.

VARGAS NEUMANN, J. (1993). *Earthquake resistant rammed-earth (tapial) buildings*. In: "7a conferencia internacional sobre e estudo e conservação da arquitectura de terra. Silves", Portogallo.

VASCONCELOS, G, LOURENÇO, P.B. (2006). *Assessment of the in-plane shear strength of stone masonry walls by simplified models*. V International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC06, New Delhi, India, pp. 843-850.

VINTZILEOU, E., ZAGOTSIS, A., REPAPIS, C., ZERIS, CH. (2007). *Seismic behaviour of the historical structural system of the island of Lefkada, Greece*. Construction and Building Materials, No. 21, pp. 225-236.

VINTZILEOU, E. (2008). *Effect of Timber Ties on the Behavior of Historic Masonry.* Journal of Structural Engineering, ASCE, giugno, pp. 961-972.

VIOLLET LE DUC, E. E. (1988). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*. Paris 1854-1868 trad. it. parziale a cura di M. A. Crippa, L'architettura ragionata, Jaka Book, Milano.

WARNECKE, P. (1998). *Natursteine: Klassifizierung und Eigenschaften*. Forschung über Baudenkmalpflege, Arbeitsberichte.

WENZEL, F., GIGLA, B., KAHLE, M., STIESCH, G. (2000). *Historisches Mauerwerk - Untersuchen, Bewerten und Instandsetzen (Historical maisonry - Investigation, evaluation and restoration)*. Wenzel, F. & Kleinmanns, J. (eds). Empfehlungen für die Praxis. Karlsruhe. Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe.

WILES, P., SIDA, W., MOOSSAVI, N. (2007). UNICEF Iran. Bam Emergency Programme 2003 – 2006. Independent Evaluation. Final Report. Febbraio 2007.

ZIEGERT, C. (2000). *Analysis of material, construction and damage in historical cob buildings in central Germany*. In: Heritage, E., ICOMOS-UK & Centre for Earthen Architecture, U. o. P. (eds.), "Terra 2000: 8th international conference on the study and conservation of earthen architecture". Torquay, United Kingdom. James & James.

ZUCCARO, G., PAPA, F. (2003). CD Multimediale MEDEA - *Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità per edifici ordinari in muratura*. Dipartimento Protezione Civile, Roma.

SITOGRAFIA

Sito 1: St. Nicholas Center – Myra Church
http://www.stnicholascenter.org/pages/myra-church/
(ultima visita 19/01/2014)

Sito 2: Ministero per i Beni Culturali e il Turismo, sezione restauri in evidenza
http://151.12.58.154/restauri/VenariaReale.asp?nd=gr,re
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 3: Castel Thun
http://www.castelthun.com
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 4: Città di Cardiff
http://www.cityofcardiff.com/castle.html
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 5: Wikimedia Commons
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_Synagogue_Plzen_CZ_general_view.JPG
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 6: Wikipedia Deutschland
http://de.wikipedia.org/wiki/Abu-Darwish-Moschee_%28Amman%29
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 7: Immagini dal Mondo
http://www.immaginidalmondo.net
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 8: Wikipedia Italia
http://it.wikipedia.org/wiki/Torri_di_Bologna
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 9: porto-tourism.com
http://www.porto-tourism.com/porto-attractions/historical-monuments-and-edifices-in-porto/clerigos-tower.html
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 10: Wikipedia Italia
http://it.wikipedia.org/wiki/Torre_pendente_di_Pisa
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 11: Shakespeare in Italy
http://www.shakespeareinitaly.it/arena.html
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 12: Historic Rammed Earth
http://www.historicrammedearth.co.uk
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 13: This Cob House - Foundations
http://www.thiscobhouse.com/cob-building-systems-foundations-and-walls/
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 14: Farmacia Santorini
http://farmaciasantorini.it/it/breve-storia-della-farmacia
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 15: Paola Villa Restauri
http://www.paolavillarestauri.it/privati01.htm
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 16: Agorà 3000
http://agorargo.wordpress.com/2011/11/09/firenze-endoscopia-nella-cupola-del-brunelleschi
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 17: Camper e Giramondo
http://www.camperisti.it/b/msiria91.htm
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 18: Bananiele – Lazio – Pantheon
http://www.bananiele.it/lazio/roma10.htm
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 19: Wikipedia Italia – Guarino Guarini
http://it.wikipedia.org/wiki/Guarino_Guarini
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 20: Viaggiare insieme – Cattedrale di St. Paul – Londra
http://www.viaggiareinsieme.it/it/cattedrale-di-st--paul---londra.php
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 21: Explore St Paul's Cathedral
http://www.explore-stpauls.net/oct03/textMM/DomeConstructionN.htm
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 22: Interprojekt Mostar
http://www.interprojekt.ba
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 23: rptaylor67's Gallery – Nepal-Peg
https://picasaweb.google.com/rptaylor67/NepalPeg#5409327081805423202
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 24: Schede per il rilievo del danno ai beni culturali
http://http://dbschede.dicea.unipd.it
(ultima visita 14/01/2014)
http://www.sismica.beniculturali.it
(in fase di attivazione)

Sito 25: Nauterre
http://www.nauterre.com/pages/Europe/Greece/daphni-monastery/daphni.htm
(ultima visita 14/01/2014)

Sito 26: OLYMPUS-FRP – Rinforzo di capriate in legno
http://www.olympus-frp.com/2012/04/rinforzo-capriate-in-legno-bitonto-ba
(ultima visita 18/01/2014)

Sito 27: Cardani G. – Politecnico di Milano – I solai e le coperture lignee
ftp://ftp.stru.polimi.it/corsi/Felicetti%20-%20Progetto%20di%20Strutture/Strutture%20in%20legno/6_LEZIONE_CAPRIATE.pdf
(ultima visita 18/01/2014)

Sito 28: Cultura in Abruzzo
http://cultura.inabruzzo.it/003341_abruzzo-terremoto-a-laquila-i-danni-al-patrimonio-artistico-e-monumentale-1
(ultima visita 18/01/2014)

Sito 29: Cultura in Abruzzo
http://cultura.inabruzzo.it/003478_terremoto-a-laquila-manifesto-per-una-ricostruzione-possibile
(ultima visita 18/01/2014

Sito 30: Comune di Castroreale - Foto Terremoto 1978
http://www.comune.castroreale.me.it/la_citt%C3%A0/galleria-immagi/foto-terremoto-1978/default.aspx?detail=999
(ultima visita 18/01/2014)

Sito 31: Maph World Photos – Film Locations Around The World (Part I)
http://www.maph.org/world/film-locations-world-part-i
(ultima visita 18/01/2014)

Sito 32: Restauro ex-Ospedale di S. Francesco Grande – Padova
http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1213867&langid=5
(ultima visita 19/01/2014)

Sito 33: NIKER Web Site
http://www.niker.eu
(ultima visita 19/01/2014)

Sito 34: Oracle Fusion Guide – Introduction to Relational Mappings
http://docs.oracle.com/cd/E14571_01/web.1111/b32441/relmapun.htm
(ultima visita 23/01/2014)

Sito 35: jQuery
http://jquery.com
(ultima visita 23/01/2014)

Sito 36: XML/SWF Charts
http://www.maani.us/xml_charts
(ultima visita 23/01/2014)

APPENDICE

ALLEGATO 1 SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: PALAZZI

Presidenza del Consiglio dei Ministri
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Ministero per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI

SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI - PALAZZI

MODELLO B - DP
Prima sezione

B_1

Data ___ ___ _____	N° progressivo ____	N° Scheda ______ *(a cura dell'ufficio)*

B_2 – RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso ❍	Bene individuo ❍
Denominazione: _____	
Numero schede beni componenti ___	Codice livello superiore _____
Tipologia ❑ canonica ❑ palazzo ❑ castello ❑ torre ❑ bene archeologico ❑ altro _____	
Pianta ❍regolare ❍con cortili ❍ad ali aperte ❍ lineare ❍altro _____	

B_3 – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione _____	Codice Istat comune _____	*Indirizzo* _____
Provincia _____		1 ❍ via 2 ❍ corso 3 ❍ vicolo 4 ❍ piazza 5 ❍ località _____
Comune _____		num.civico _____
Località _____		
Sezione censuaria _____	N° complesso o aggregato _____	N° edificio _____
Foglio _____	Data ___ ___ _____	Particelle ____ ____ Sub. _____

B_4 – COORDINATE UTM

Quadrante _____	Longitudine Est (x) ___° ___'	Latitudine Nord(y) ___° ___'	❍ Lettura GPS

B_5 – OGGETTO

Denominazione bene _____	
Denominazione storica _____	
Datazione anno _____ secolo ____ epoca _____	Ultima trasformazione _____
Proprietà _____	☎ _____
Utilizzatore _____	☎ _____

1

B_6 – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione spaziale [%]				Utilizzazione temporale			Esposizione	
		>65	30÷65	< 30	0	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	N° occupanti	Affollamento
Abitazione ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Commerciale ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Museo ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Uffici ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Servizi ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Strategico ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑
Altro ❑	_|_|_|	❍	❍	❍	❍	❍	❍	❍	_|_|_|_|	❑

B_7 – CARATTERISTICHE DEL SITO

In piano ❍	Su rilievo / su cresta / su vetta ❍	Su riporto ❍	In pendio / su versante ❍	Avvallamento ❍

B_8 – CONTESTO URBANO E POSIZIONE

Centro urbano ❍	Periferia urbana ❍	Area industriale - commerciale ❍	Area agricola ❍	Centro storico ❍

Isolato ❍	Connesso con altri edifici ❍ su _|_| lati	Altro ❍ .....

B_9 – INFRASTRUTTURE

Accesso pedonale	❍	Rete viaria idonea in relazione al rischio	❑
Accesso carrabile	❍	Parcheggio nelle vicinanze	❑
Accesso con altezza inferiore a 4 metri	❍	Spazi aperti a disposizione	❑
Accesso con mezzi pesanti	❍	Altro ❑ _|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|	

B_{10} – PRESENZA DI RISCHIO

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insediamento minacciato da frana	❑	❍	❍
Insediamento in zona alluvionabile	❑	❍	❍
Insediamento soggetto a minacce di tipo industriale	❑	❍	❍
Insediamento soggetto ad altre minacce naturali	❑	❍	❍

B_{11} – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA		Num.	superficie	TIPOLOGIA		Num.	superficie
Affreschi	❑	_|_|	_|_|_|	Dipinti mobili su vario supporto	❑	_|_|	_|_|_|
Mosaici	❑	_|_|	_|_|_|	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali)	❑	_|_|	_|_|_|
Stucchi	❑	_|_|	_|_|_|	Decorazioni plastiche mobili	❑	_|_|	_|_|_|
Arazzi	❑	_|_|	_|_|_|	Manufatti in carta e pergamena	❑	_|_|	_|_|_|
Altari / statue	❑	_|_|	_|_|_|	Reperti archeologici	❑	_|_|	_|_|_|
Libri / Stampe	❑	_|_|	_|_|_|	Altri	❑	_|_|	_|_|_|

B_{12} – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA – Realizzata da ..... SI ❍ NO ❍

B_{13} – COMPILATORE SCHEDA

Cognome _|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|	Nome _|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Ente/ufficio di appartenenza _|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|	
☎ _|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|	E-Mail: .....

MODELLO B - DP
Seconda sezione

B_{14} - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DEI PALAZZI

N° Scheda ⌊_⌊_⌊_⌊_	Data ⌊_⌊_ ⌊_⌊_ ⌊_⌊_⌊_⌊_	Ente ⌊_

B_{15} – STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo	Lavori in corso
Strutture verticali	❍	❍	❍	❍	❑
Strutture orizzontali	❍	❍	❍	❍	❑
Copertura	❍	❍	❍	❍	❑

B_{16} – INTERVENTI

Ampliamento ❑	Sopraelevazione ❑	Manutenzione straordinaria ❑	Consolidamento ❑
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

B_{17} – REGOLARITA', FORMA PLANIMETRICA E DATI DIMENSIONALI

	Regolare	Non regolare
Pianta	❍	❍
Elevazione	❍	❍
Disposizione muri interni	❍	❍
Disposizione aperture	❍	❍

FORMA IN PIANTA				
	❍ rettangolare	❍ rett. allungata	❍ a L	
	❍ a C	❍ a corti	❍ altro	
Presenza di	❑ porticati	❑ logge	❑ cavedii	❑ atrio
Discontinuità costruttive e del materiale ❑				

DATI DIMENSIONALI	Stimati ❍	rilevati ❍		
Larghezza media m. ⌊_⌊_⌊_	Lunghezza media m. ⌊_⌊_⌊_	Superficie media in pianta m^2. ⌊_⌊_⌊_⌊_	Altezza media in gronda m. ⌊_⌊_⌊_	Piani fuori terra ⌊_
				Piani interrati ⌊_

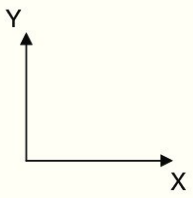
B_{18} – EIDOTIPO E SUDDIVISIONE IN ELEMENTI

SUDDIVISIONE IN AREE					INDIVIDUAZIONE CORPI SCALA E CORPI ANNESSI	INDIVIDUAZIONE COPERTURE				
Area	⌊_	⌊_	⌊_	⌊_	N° totale corpi scala: ⌊_⌊_⌊_					
Sup.[m^2]	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_	N° totale corpi annessi: ⌊_⌊_⌊_	Copertura	⌊_	⌊_	⌊_	⌊_
N° piani	⌊_⌊_	⌊_⌊_	⌊_⌊_	⌊_⌊_		Sup.[m^2]	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_	⌊_⌊_⌊_

3

SCHEMATIZZAZIONE DELLA PLANIMETRIA E DELLA SEZIONE
(E' possibile utilizzare anche fotocopie di planimetrie, sezioni e prospetti, Indicando, comunque, la numerazione dei diversi elementi della costruzione)

ORIENTAMENTO



4

B_{19} – RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI STRUTTURALI

TIPOLOGIA MURARIA		DESCRIZIONE
A	PIETRA SQUADRATA	
B	PIETRA SBOZZATA	
C	PIETRA A SPACCO	
D	MATTONI	
E	IRREGOLARE, CIOTTOLI, MISTA	
F	ALTRO	

PARETI PERIMETRALI

N° PARETE	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI											DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
				APERTURE								D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			
	LIBERA	PARZ. LIBERA	IN AGGREGATO	uniformi	discontinue	assenti	LUNGHEZZA [m]	SPESSORE [m]	TIPOLOGIA MURARIA (A ÷ F DI B_{19})	PRESENZA DI CORDOLI / CATENE	PARETI INTERNE ORTOGONALI	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	NULLO
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
	○	○	○	○	○	○				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○

PORTICATI / LOGGE / ATRI

N° PARETE	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	PIANI	LUNGHEZZA [m]	TIPOLOGIA STRUTTURALE				PRESENZA DI CATENE	D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
			muratura	c.a.	legno	acciaio		>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
			❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○

PARETI INTERNE

N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI					DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	LUNGHEZZA [m]		SPESSORE [m]		TIPOLOGIA MURARIA (A ÷ F DI B_{19})	D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
	x	y	x	y		>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
						❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
						❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
						❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
						❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○
						❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	○

CORPI SCALA

N°	N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
				TIPOLOGIA STRUTTURALE				D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
		PIANI	SUPERFICIE [m^2]	muratura	c.a.	legno	acciaio	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
				❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

ORIZZONTAMENTI

N° AREA	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI						DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
			TIPOLOGIA [%]				D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
	SUPERFICIE [m^2]	H INTERPIANO [m]	legno	volte	c.a.	acciaio	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
							❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

COPERTURE

N°	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI							DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
		TIPOLOGIA			SPINGENTE		DESCRIZIONE	D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
	SUPERFICIE [m^2]	c.a.	legno	acciaio	si	no		>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
		❑	❑	❑	❍	❍		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❍	❍		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❍	❍		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❍	❍		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❍	❍		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

BALCONI / ELEMENTI AGGETTANTI

N° TOTALE	DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	D4 – D5 GRAVISSIMO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D1 LEGGERO			NULLO
	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

ELEMENTI SVETTANTI

N° TOTALE	DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
	D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

CORPI ANNESSI

N°	TIPOLOGIA E PARAMETRI DIMENSIONALI		DANNO (LIVELLO ED ESTENSIONE)									
			D1 LEGGERO			D2 – D3 MEDIO GRAVE			D4 – D5 GRAVISSIMO			NULLO
	SUPERFICIE [m^2]	PRESENZA DI CATENE	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	>2/3	1/3 – 2/3	<1/3	
		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍
		❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❍

B_{20}– RILIEVO DEL DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

I	COMIGNOLI	II	CORNICIONI	III	STATUE O AGGETTI	IV	RIVESTIMENTI O CONTROSOFFITTI RECENTI
V	RETE IDRICA , FOGNARIA O TERMOIDRAULICA	VI	RETE ELETTRICA O DEL GAS	VII	ALTRO.....	VIII	ALTRO.....

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□□ assenza di danno 1 - ■□□□□ danno lieve 2 - ■■□□□ danno moderato

3 - ■■■□□ danno grave 4 - ■■■■□ danno molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

❑ A - danno sismico
❑ B - danno pregresso
❑ C - aggravamento

ELEMENTI DANNEGGIATI	Livello di danno	p	LOCALIZZAZIONE	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI			
				PUNTELLAMENTI	RIPARAZIONE	TRANSENNATURE	ALTRO
	❑ ❑ ❑ ❑ ❑	__		❑	❑	❑	❑
	❑ ❑ ❑ ❑ ❑	__		❑	❑	❑	❑
	❑ ❑ ❑ ❑ ❑	__		❑	❑	❑	❑
	❑ ❑ ❑ ❑ ❑	__		❑	❑	❑	❑
	❑ ❑ ❑ ❑ ❑	__		❑	❑	❑	❑

NOTE.....

B_{21} – PERICOLO ESTERNO

CAUSA POTENZIALE	PERICOLO SU		PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	
	EDIFICIO	VIA D'ACCESSO	DIVIETO DI ACCESSO	TRANSENNE E PROTEZIONE PASSAGGI
CROLLI O CADUTE DA ALTRE COSTRUZIONI	❑	❑	❑	❑
ROTTURA DI RETI DI SERVIZI/DISSESTI	❑	❑	❑	❑

B_{22} – DISSESTI DI VERSANTE O DEL TERRENO DI FONDAZIONE

	ASSENTI	PREESISTENTI	GENERATI DAL SISMA	ACUITI DAL SISMA
VERSANTI INCOMBENTI	❍	❍	❍	❍
TERRENO DI FONDAZIONE	❍	❍	❍	❍

B_{23} – MECCANISMI DI COLLASSO STRUTTURALI

TIPOLOGIA	n	CODICE		MECCANISMO
PARETI PERIMETRALI	__	M1	❑	RIBALTAMENTO DELLE PARETI
		M2	❑	INSTABILITÀ VERTICALE DELLE PARETI
		M3	❑	ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
		M4	❑	RIBALTAMENTO DEL CANTONALE
		M5	❑	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI
		M6	❑	TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: ARCHITRAVI E MURATURA SOPRASTANTE
PARETI INTERNE	2x__	M7	❑	TAGLIO NELLE PARETI INTERNE
GLOBALE	☒	M8	❑	SCORRIMENTO DI PIANO
PORTICATI / LOGGE	❑	M9	❑	DANNO AI PORTICATI / LOGGE
ORIZZONTAMENTI	__	M10	❑	SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO
		M11	❑	COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA
		M12	❑	DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE
		M13	❑	DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONE DI PIANO
SCALE	__	M14	❑	DANNO ALLE SCALE
COPERTURE	__	M15	❑	DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA
		M16	❑	DANNO AL MANTO DI COPERTURA
		M17	❑	RIBALTAMENTO DELLE FASCE SOTTOTETTO E TIMPANO
ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI	❑	M18	❑	DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI / SVETTANTI
COLLASSI LOCALI	❑	M19	❑	COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITA' COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE
INTERAZIONI	❑	M20	❑	DANNO PER IRREGOLARITÀ DI FORMA
	__	M21	❑	DANNO NEI CORPI ANNESSI
	☒	M22	❑	CEDIMENTO DI FONDAZIONI
ALTRO	❑	M23	❑	.....
	❑	M24	❑	.....

$B_{23.1}$ - LIVELLO DI ATTIVAZIONE RISPETTO AL COLLASSO

0 - □□□□□ assente 1 - ■□□□□ lieve 2 - ■■□□□ moderato

3 - ■■■□□ grave 4 - ■■■■□ molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL LIVELLO DI ATTIVAZIONE

- ❑ A - danno sismico
- ❑ B - danno pregresso
- ❑ C - aggravamento

N° PROGRESSIVO	CODICE MECCANISMO	AREA	PIANI	ELEMENTI INTERESSATI	SECONDAIO	LIVELLO DI ATTIVAZIONE RISPETTO AL COLLASSO	P	RISCHIO			PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI							
								BASSO	BASSO CON PROVVEDIMENTI	ALTO	CERCHIATURE TIRANTI	PUNTELLI	TAMPONATURE	RIPARAZIONI	RIMOZIONI	TRANSENNATURE	PROTEZIONI	ALTRO
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
					❑	❑❑❑❑❑	⎵⎵	❍	❍	❍	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑

$B_{23.2}$ - INDICE DI DANNO

n = ⎵⎵ (numero dei meccanismi possibili)	d = ⎵⎵ (somma dei livelli di attivazione nei meccanismi primari)	i_d = d / 5n = ⎵ , ⎵⎵

B_{24} – AGIBILITA'

Agibile ❍	Inagibile ❍

Parzialmente Agibile ❍	Agibile con Provvedimenti ❍	Temporaneamente Inagibile ❍	Inagibile per cause Esterne ❍
Indicare le parti agibili	Segnalare i provvedimenti	❑ Verifica più accurata ❑ Si consiglia visita di esperti ❑ Altro	Indicare le cause esterne

B_{25} – UNITA' IMMOBILIARI INAGIBILI, FAMIGLIE E PERSONE EVACUATE

Unità immobiliari inagibili ____	Nuclei familiari evacuati ____	N° persone evacuate ____

B_{26} – TIPO DI VISITA

Completa ❍	Parziale ❍	Solo dall'esterno ❍	Motivi ostativi .....

B_{27} – NOTE SULL'AGIBILITA' ED I PROVVEDIMENTI DI P.I.

B_{28} – DANNI ALL'APPARATO DECORATIVO E ALLE OPERE D'ARTE *(scheda dettagliata a parte)*

$B_{28.1}$ - Descrizione apparato decorativo o opera d'arte

$B_{28.2}$ - Descrizione danno

$B_{28.3}$ - Provvedimenti provvisionali sugli apparati decorativi e sgombero opere d'arte mobili

SI CONSIGLIA INTERVENTO STORICO DELL'ARTE ❑

STIMA DEL COSTO PER LA SALVAGUARDIA DELLE OPERE D'ARTE € ____ ___ ___ ,00

B_{29} – DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE NECESSARIE

$B_{29.1}$ - Descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni pregressi aggravati)

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO PER IL RIPRISTINO STRUTTURALE € _|_|_ _|_|_ _|_|_ ,00

$B_{29.2}$ - Descrizione opere di finitura, impiantistica e miglioramento sismico

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE FINITURA, IMPIANTISTICA E MIGLIORAMENTO SISMICO € _|_|_ _|_|_ _|_|_ ,00

$B_{29.3}$ - Descrizione opere di pronto intervento (eventualmente indicare anche il costo del P.I. **"a finire"**)

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE DI PRONTO INTERVENTO € _|_|_ _|_|_ ,00

B_{30} – NOTE

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

B_{31} – DOCUMENTAZIONE ALLEGATA ❍ SI ❍ NO

DESCRIZIONE

.....

.....

.....

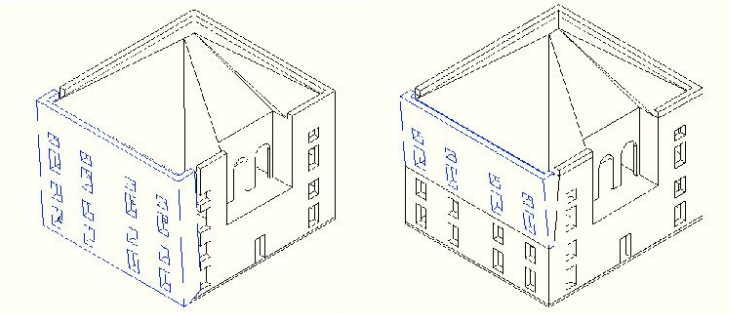
B_{32} – SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

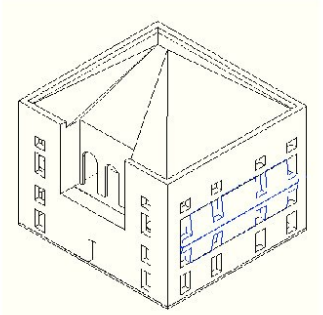
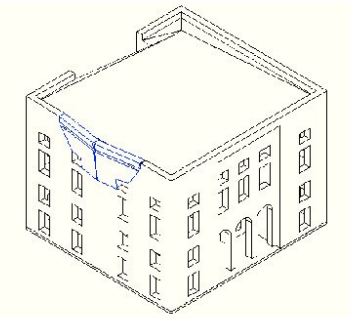
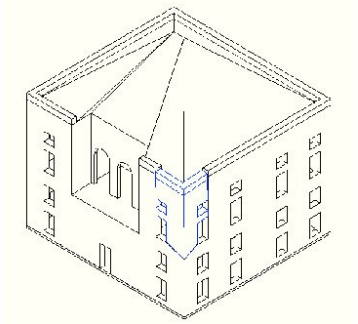
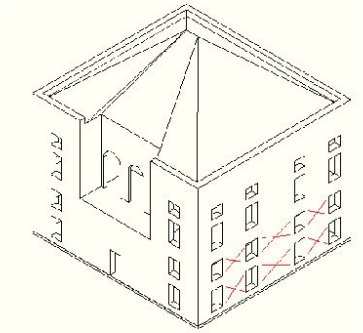
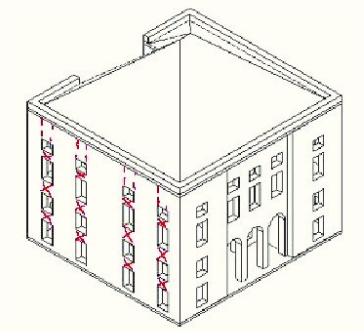
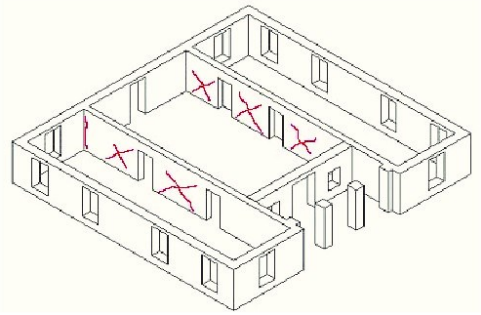
SISMA		C.O.M.	SQUADRA N.
Componenti della squadra			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma

Modello B-DP PCM-DPC MiBAC 2006

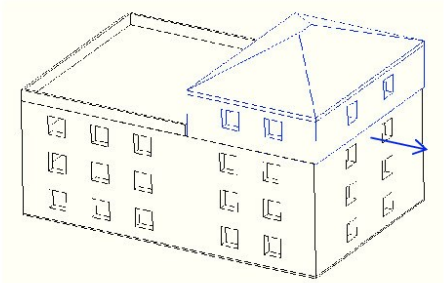
ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DEI PALAZZI

M1. RIBALTAMENTO DELLE PARETI

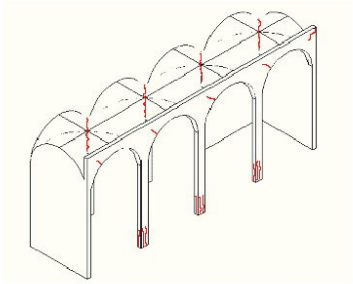


M2. INSTABILITA' VERTICALE DELLE PARETI	M3. ROTTURA A FLESSIONE DELLE PARETI
	
M4. RIBALTAMENTO DEL CANTONALE	**M5. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: MASCHI**
	
M6. TAGLIO NELLE PARETI ESTERNE: FASCE	**M7. TAGLIO NELLE PARETI INTERNE**
	

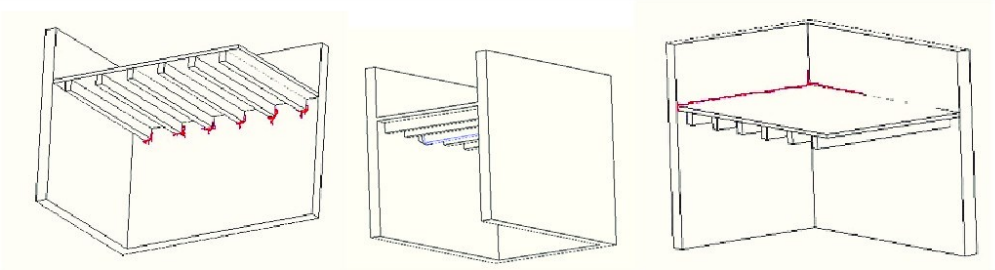
M8. SCORRIMENTO DI PIANO



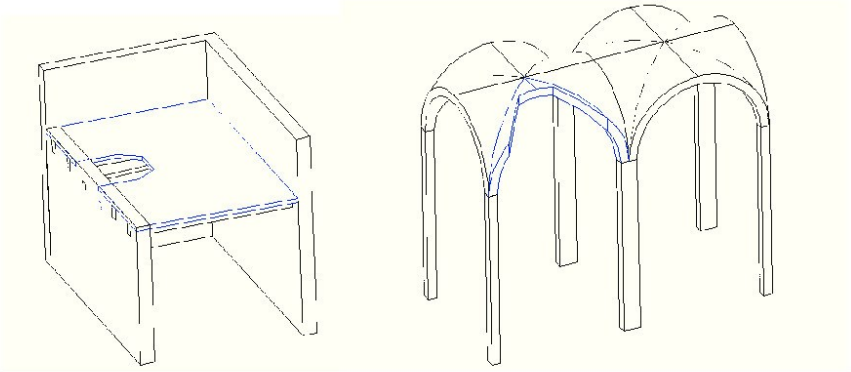
M9. DANNO AI PORTICATI/ LOGGE



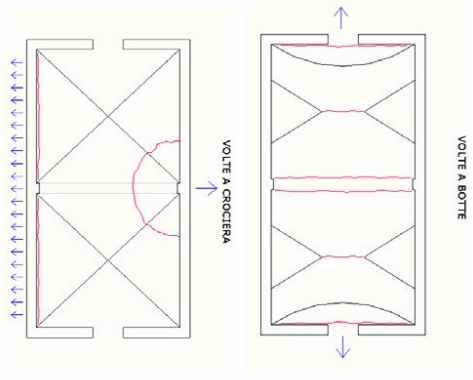
M10. SFILAMENTO TESTA DELLE TRAVI E/O MARTELLAMENTO



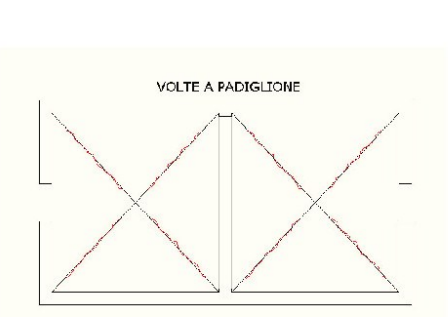
M11. COLLASSI LOCALI DELL'IMPALCATO O DELLA VOLTA



M12. DANNO ALLE VOLTE PER ROTAZIONE DELLE IMPOSTE

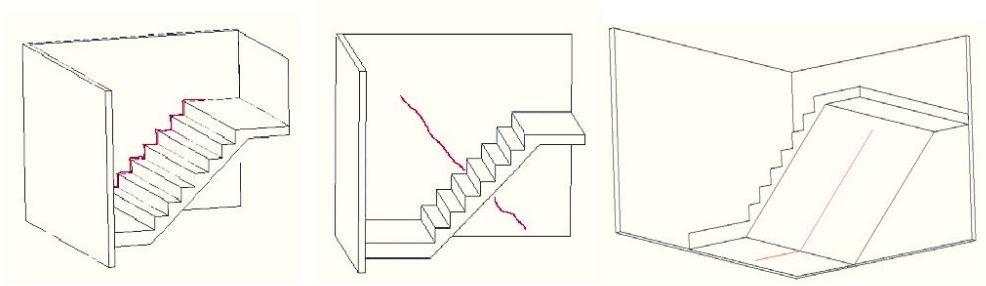


M13. DANNO ALLE VOLTE PER DEFORMAZIONE DI PIANO

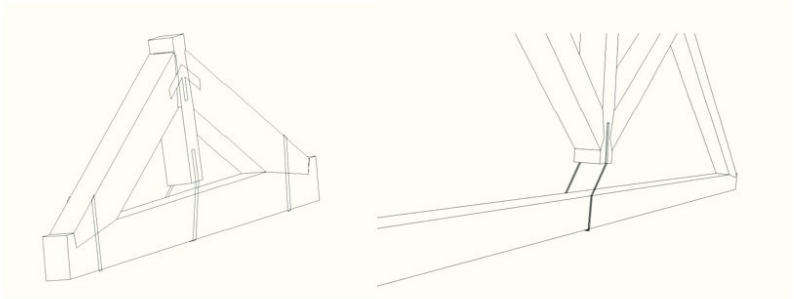


12

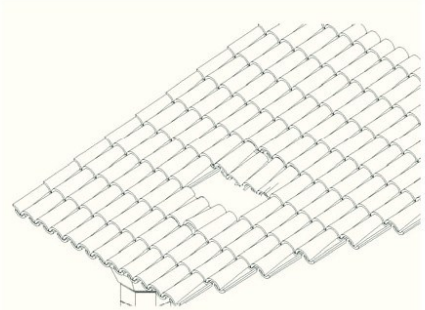
M14. DANNO ALLE SCALE



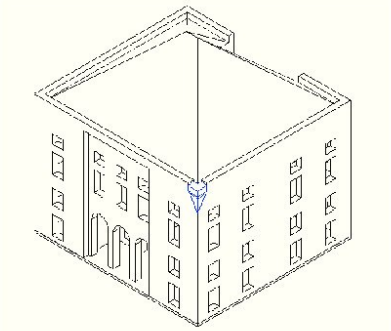
M15. DANNO NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA



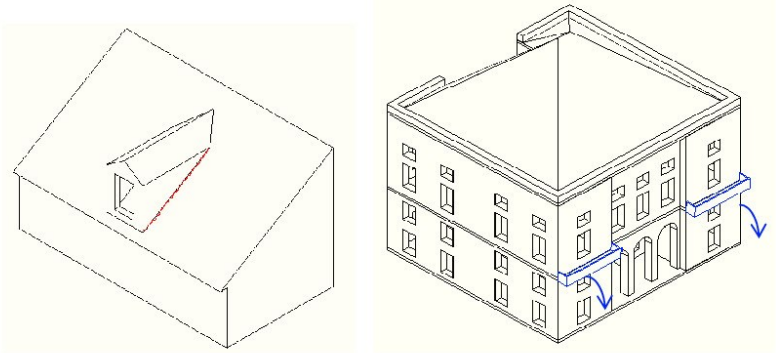
M16. DANNO AL MANTO DI COPERTURA



M17. RIBALTAMENTO DELLE FASCE SOTTOTETTO E DEL TIMPANO

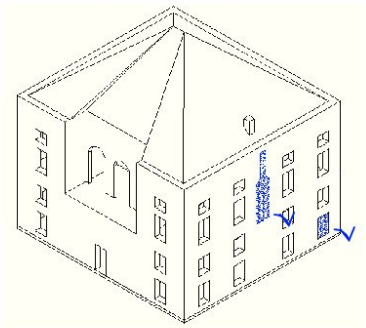


M18. DANNO AGLI ELEMENTI AGGETTANTI/SVETTANTI

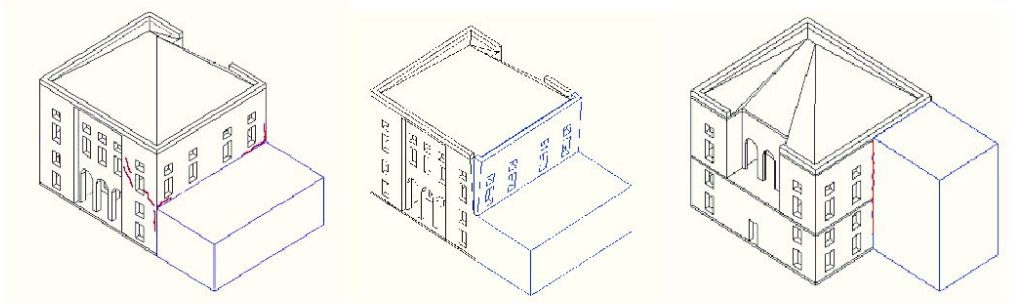


13

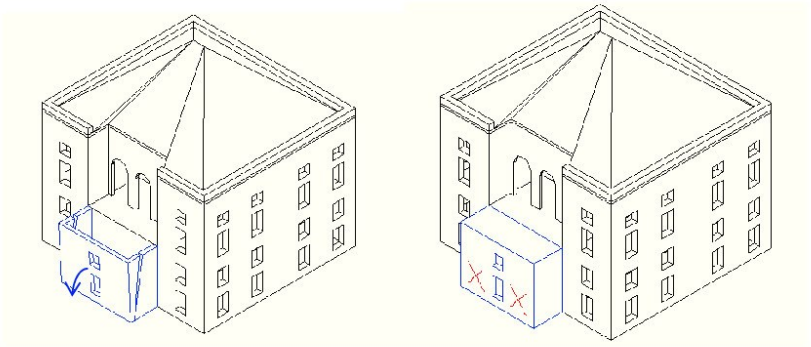
M19. COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITA' COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE



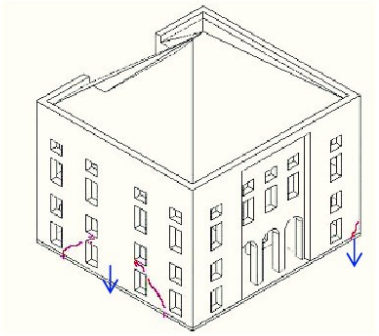
M20. DANNO PER IRREGOLARITA' DI FORMA



M21. DANNO NEI CORPI ANNESSI



M22. CEDIMENTO DI FONDAZIONI



Modello B-DP PCM-DPC MiBAC 2006

14

ALLEGATO 2 SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI: CHIESE

Presidenza del Consiglio dei Ministri
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Ministero per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI

SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI – CHIESE

MODELLO A – DC
Prima sezione

A_1

Data ___ ___ _____	N° progressivo ____	N° Scheda ______ *(a cura dell'ufficio)*

A_2 – RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso ❍	Bene individuo ❍
Denominazione bene complesso: _____	
Numero schede beni componenti ___	Codice livello superiore ______
Tipologia ❑ chiesa ❑ canonica ❑ palazzo ❑ castello ❑ torre ❑ bene archeologico ❑ altro	
Pianta ❍ regolare ❍ con cortili ❍ ad ali aperte ❍ lineare ❍ altro _____	

A_3 – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione _____	Codice Istat comune _____	*Indirizzo* ______
Provincia _____		1 ❍ via 2 ❍ corso 3 ❍ vicolo 4 ❍ piazza 5 ❍ località ______
Comune _____		num.civico _____
Località _____		
Sezione censuaria _____	N° complesso o aggregato _____	N° edificio _____
Foglio _____	Data ___ ___ _____ Particelle ____ ____	Sub. _____

A_4 – COORDINATE UTM

Quadrante _____	Longitudine Est (x) ___° ___'	Latitudine Nord(y) ___° ___'	❍ Lettura GPS

A_5 – OGGETTO

Denominazione bene: _____	
Denominazione storica: _____	
Datazione: anno _____ secolo ___ epoca ______	Ultima trasformazione _____
Proprietà: _____	☎ ______
Utilizzatore: _____	☎ ______

1

A_6 – DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

Uso		Utilizzazione temporale			Affollamento
		Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo	❑	❍	❍	❍	❑
Chiesa parrocchiale	❑	❍	❍	❍	❑
Oratorio	❑	❍	❍	❍	❑
Santuario	❑	❍	❍	❍	❑
Museo	❑	❍	❍	❍	❑
Auditorium	❑	❍	❍	❍	❑
Servizi	❑	❍	❍	❍	❑
Altro ______	❑	❍	❍	❍	❑

A_7 – CARATTERISTICHE DEL SITO

In piano ❍	Su rilievo / su cresta / su vetta ❍	Su riporto ❍	In pendio / su versante ❍	Avvallamento ❍

A_8 – CONTESTO URBANO E POSIZIONE

Centro urbano ❍	Periferia urbana ❍	Area industriale - commerciale ❍	Area agricola ❍	Centro storico ❍

Isolata ❍	Connessa con altri edifici ❍ su __ lati	Altro ❍ .....

A_9 – INFRASTRUTTURE

Accesso pedonale	❍	Rete viaria idonea in relazione al rischio	❑
Accesso carrabile	❍	Parcheggio nelle vicinanze	❑
Accesso con altezza inferiore a 4 metri	❍	Spazi aperti a disposizione	❑
Accesso con mezzi pesanti	❍	Altro ❑ ______	

A_{10} – PRESENZA DI RISCHIO

		RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insediamento minacciato da frana	❑	❍	❍
Insediamento in zona alluvionabile	❑	❍	❍
Insediamento soggetto a minacce di tipo industriale	❑	❍	❍
Insediamento soggetto ad altre minacce naturali	❑	❍	❍

A_{11} – TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI

TIPOLOGIA		Num.	superficie	TIPOLOGIA		Num.	superficie
Affreschi	❑	__	___	Dipinti mobili su vario supporto	❑	__	___
Mosaici	❑	__	___	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stalli corali)	❑	__	___
Stucchi	❑	__	___	Decorazioni plastiche mobili	❑	__	___
Arazzi	❑	__	___	Manufatti in carta e pergamena	❑	__	___
Altari / statue	❑	__	___	Reperti archeologici	❑	__	___
Libri / Stampe	❑	__	___	Altri	❑	__	___

A_{12} – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da ..... SI ❍ NO ❍

A_{13} – COMPILATORE SCHEDA

Cognome ______ Nome ______	
Ente/ufficio di appartenenza ______	
☎ ______	E-Mail: .....

MODELLO A – DC
Seconda sezione

A_{14} - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DELLE CHIESE

N° Scheda ______	Data ___ ___ _____	Ente ______

A_{15} - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

Buono ❍	Discreto ❍	Scadente ❍	Pessimo ❍	In corso lavori ❑
Eventuali precedenti lesioni esistenti	NO ❍	SI ❍	Limitate ❍	Estese ❍ Gravi ❍

A_{16} - DANNO SISMICO (Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese)

LIVELLO DI DANNO

0 - □□□□□ assenza di danno 1 - ■□□□□ danno lieve 2 - ■■□□□ danno moderato
3 - ■■■□□ danno grave 4 - ■■■■□ danno molto grave 5 - ■■■■■ crollo

IDENTIFICAZIONE DEL DANNO

❑ danno sismico
❑ danno pregresso
❑ aggravamento

1	**RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA**	❑
danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI O EVIDENTI FUORI PIOMBO	❑❑❑❑❑
2	**MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA**	❑
danno	RIBALTAMENTO DEL TIMPANO, CON LESIONE ORIZZONTALE O A V – DISGREGAZIONE DELLA MURATURA O SCORRIMENTO DEL CORDOLO – ROTAZIONE DELLE CAPRIATE	❑❑❑❑❑
3	**MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA**	❑
danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO) – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE) – ALTRE FESSURAZIONI O SPANCIAMENTI	❑❑❑❑❑
4	**PROTIRO – NARTECE**	❑
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NELLA TRABEAZIONE PER ROTAZIONE DELLE COLONNE – DISTACCO DALLA FACCIATA – MARTELLAMENTO	❑❑❑❑❑
5	**RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA**	❑
danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA) – ROTAZIONI DELLE PARETI LATERALI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE – FUORI PIOMBO E SCHIACCIAMENTO NELLE COLONNE	❑❑❑❑❑
6	**MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)**	❑
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ NELLA MURATURA	❑❑❑❑❑
7	**RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE**	❑
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NEGLI ARCHITRAVI LONGITUDINALI – SCHIACCIAMENTO E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	❑❑❑❑❑
8	**VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE**	❑
danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE – SCONNESSIONI DELLE VOLTE DAGLI ARCONI	❑❑❑❑❑
9	**VOLTE DELLE NAVATE LATERALI**	❑
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	❑❑❑❑❑
10	**RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO**	❑
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI – RIBALTAMENTO O DISGREGAZIONI DEL TIMPANO IN SOMMITÀ	❑❑❑❑❑
11	**MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI DEL TRANSETTO**	❑
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ	❑❑❑❑❑
12	**VOLTE DEL TRANSETTO**	❑
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI E DALLE PARETI LATERALI	❑❑❑❑❑
13	**ARCHI TRIONFALI**	❑
danno	LESIONI NELL'ARCO – SCORRIMENTO DI CONCI – SCHIACCIAMENTO O LESIONI ORIZZONTALI ALLA BASE DEI PIEDRITTI	❑❑❑❑❑

14	**CUPOLA – TAMBURO/TIBURIO**	❑
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	❑❑❑❑❑
15	**LANTERNA**	❑
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	❑❑❑❑❑
16	**RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE**	❑
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE – LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI – LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	❑❑❑❑❑
17	**MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE**	❑
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	❑❑❑❑❑
18	**VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE**	❑
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	❑❑❑❑❑
19	**MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – PARETI LATERALI DELL'AULA**	❑
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	❑❑❑❑❑
20	**MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO**	❑
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	❑❑❑❑❑
21	**MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO**	❑
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	❑❑❑❑❑
22	**RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE**	❑
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	❑❑❑❑❑
23	**MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE**	❑
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	❑❑❑❑❑
24	**VOLTE DELLE CAPPELLE**	❑
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	❑❑❑❑❑
25	**INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)**	❑
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	❑❑❑❑❑
26	**AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)**	❑
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO – LESIONI	❑❑❑❑❑
27	**TORRE CAMPANARIA**	❑
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA – LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	❑❑❑❑❑
28	**CELLA CAMPANARIA**	❑
danno	LESIONI NEGLI ARCHI – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	❑❑❑❑❑

A_{17} - INDICE DI DANNO

n = ⌊_⌋⌊_⌋ (numero dei meccanismi possibili) d = ⌊_⌋⌊_⌋ (punteggio totale di danno) $i_d = d / 5n =$ ⌊_⌋⌊_⌋

A_{18} - AGIBILITA'

Agibile ❍	Inagibile ❍

Parzialmente Agibile ❍	Agibile con Provvedimenti ❍	Temporaneamente Inagibile ❍	Inagibile per cause Esterne ❍
Indicare le parti agibili	Segnalare i provvedimenti anche indicandoli nella tabella sottostante	❑ Verifica più accurata ❑ Si consiglia visita di esperti ❑ Altro	Indicare le cause esterne

A_{19} – TIPO DI VISITA

Completa ❍	Parziale ❍	Solo dall'esterno ❍	Motivi ostativi .....

A_{20} - PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI (* interventi limitati ** interventi estesi)

	PROVVEDIMENTI	*	**		PROVVEDIMENTI	*	**
1	Revisione manto di copertura	❑	❑	8	Ripristino smaltimento delle acque meteoriche	❑	❑
2	Copertura provvisoria	❑	❑	9	Monitoraggio	❑	❑
3	Puntellamenti	❑	❑	10	Protezioni o consolidamenti su opere d'arte fisse	❑	❑
4	Rimozione delle macerie	❑	❑	11	Catalogazione e smontaggio delle parti pericolanti	❑	❑
5	Transennamenti / recinzioni / protezioni	❑	❑	12	Sgombero opere d'arte mobili	❑	❑
6	Consolidamenti localizzati	❑	❑	13	Raccolta sistematica dei frammenti	❑	❑
7	Messa in opera di cerchiatura e/o tiranti	❑	❑	14	Ricovero e protezione dei frammenti	❑	❑

A_{21} - DANNI ALL'APPARATO DECORATIVO E ALLE OPERE D'ARTE ***(scheda dettagliata a parte)***

$A_{21.1}$ - Descrizione apparato decorativo o opera d'arte

.....

.....

.....

$A_{21.2}$ - Descrizione danno

.....

.....

.....

$A_{21.3}$ - Provvedimenti provvisionali sugli apparati decorativi e sgombero opere d'arte mobili

SI CONSIGLIA INTERVENTO STORICO DELL'ARTE ❑

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO PER LA SALVAGUARDIA DELLE OPERE D'ARTE

€ _|_|_ _|_|_ **,00**

A_{22} - DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE NECESSARIE

$A_{22.1}$ - Descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni pregressi aggravati)

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO PER IL RIPRISTINO STRUTTURALE

€ _|_|_ _|_|_ _|_|_ ,00

$A_{22.2}$ - Descrizione opere di finitura, impiantistica e miglioramento sismico collegate

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE FINITURA IMPIANTISTICA E MIGLIORAMENTO SISMICO

€ _|_|_ _|_|_ _|_|_ ,00

$A_{22.3}$ - Descrizione opere di pronto intervento (eventualmente indicare anche il costo del P.I. **"a finire"**)

.....

.....

.....

STIMA DEL COSTO OPERE DI PRONTO INTERVENTO

€ _|_|_ _|_|_ ,00

A_{23} - NOTE

Indicare, eventualmente, altri danni non rilevabili dalla scheda (es. solai di calpestio, pavimentazioni ecc.)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A_{24} - DATI DIMENSIONALI (stimati ❍ rilevati ❍)

Aula (compresi navate, cappelle, transetti)	Larghezza mt. _|_|_	Lunghezza mt. _|_|_	Superficie mq. _|_|_|_	Altezza media mt. _|_|_
Abside	Larghezza mt. _|_|_	Lunghezza mt. _|_|_	Superficie mq. _|_|_|_	Altezza media mt. _|_|_
Facciata principale	Larghezza mt. _|_|_	Altezza mt. _|_|_	Superficie mq. _|_|_|_	
Campanile	Larghezza mt. _|_|_	Lunghezza mt. _|_|_		Altezza mt. _|_|_
Coperture chiesa	Larghezza mt. _|_|_	Lunghezza mt. _|_|_	Superficie mq. _|_|_|_	Altezza massima mt. _|_|_

A_{25} - ELABORATI GRAFICI (piante, sezioni, prospetti, illustrazione di dissesti particolari, allegare eventualmente fotocopie)

A_{26} – DOCUMENTAZIONE ALLEGATA SI ❍ NO ❍

.....

.....

.....

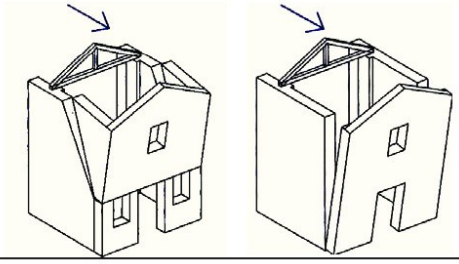
A_{27} - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

SISMA		C.O.M.	SQUADRA N.
Componenti della squadra			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma

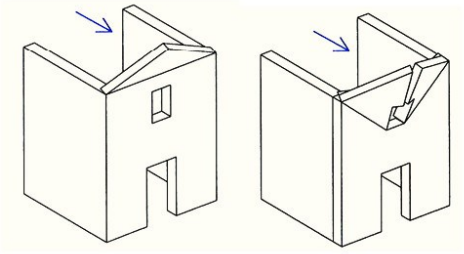
Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

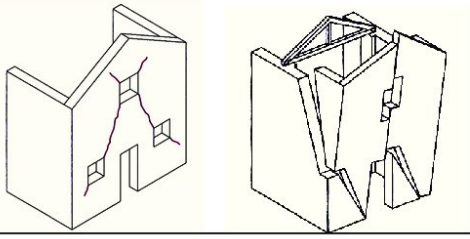
1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA



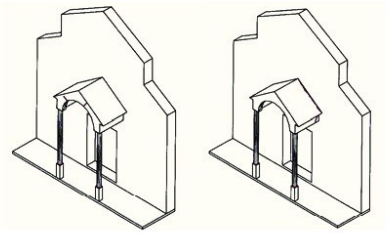
2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA



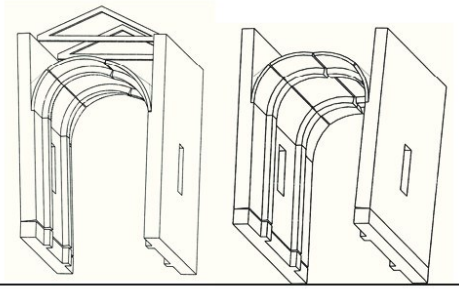
3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA



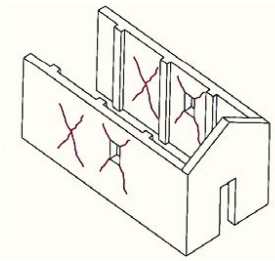
4 - PROTIRO E NARTECE



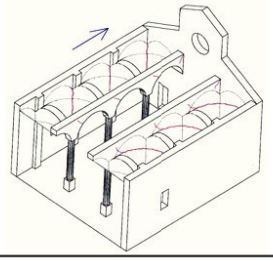
5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA



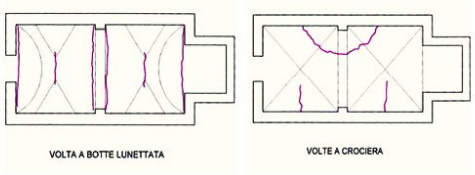
6 - MECCANISMI DI TAGLIO PARETI LATERALI



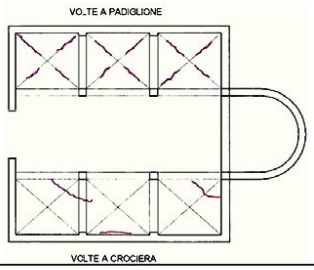
7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO



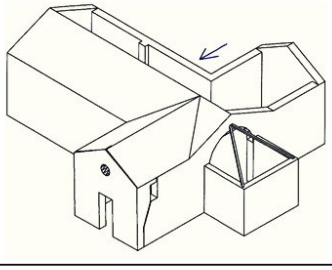
8 - VOLTE DELL'AULA O DELLA NAVATA CENTRALE



9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI

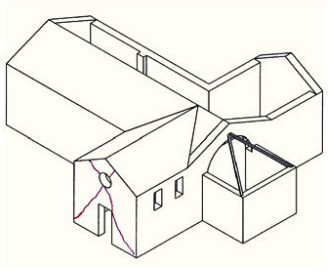


10 - RIBALTAMENTO PARETI DEL TRANSETTO

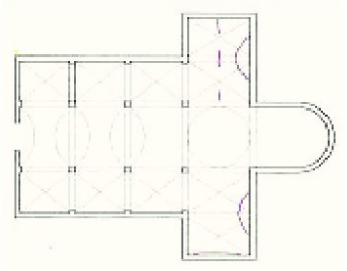


8

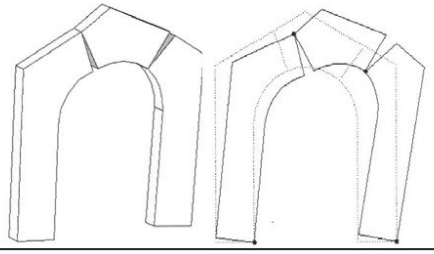
11 - MECCANISMI DI TAGLIO DEL TRANSETTO



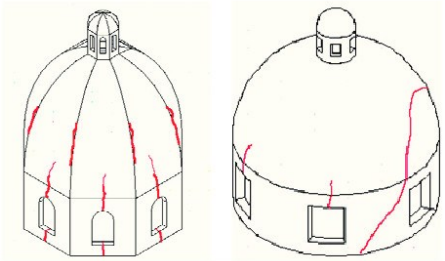
12 - VOLTE DEL TRANSETTO



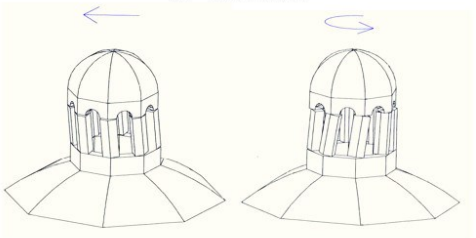
13 - ARCHI TRIONFALI



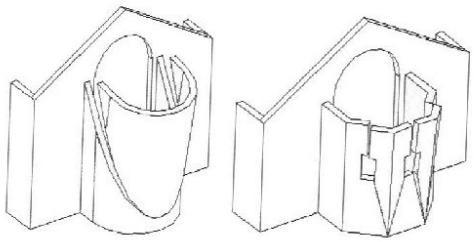
14 - CUPOLA E TAMBURO / TIBURIO



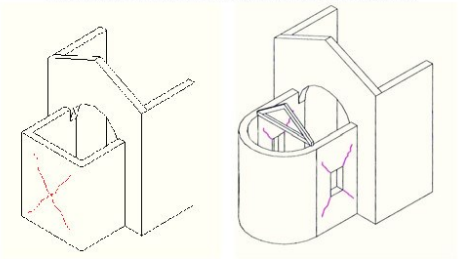
15 – LANTERNA



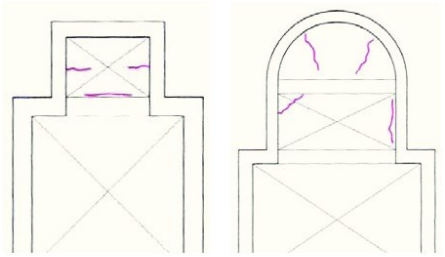
16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE



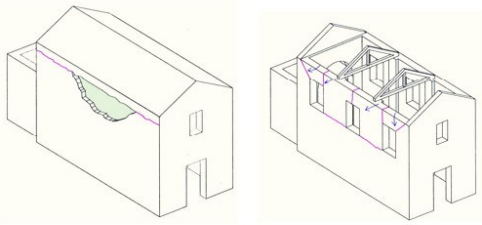
17 - MECCANISMI DI TAGLIO NELL'ABSIDE



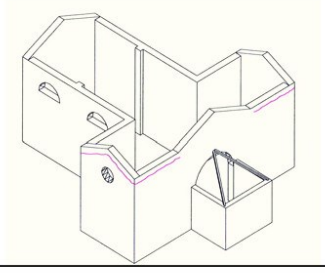
18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE



19 – ELEMENTI DI COPERTURA: AULA

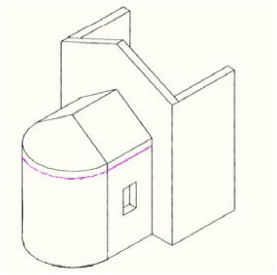


20 - ELEMENTI DI COPERTURA: TRANSETTO

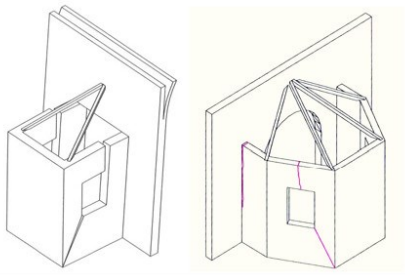


9

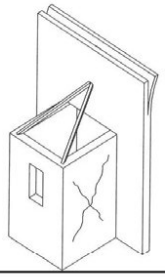
21 - ELEMENTI DI COPERTURA: ABSIDE



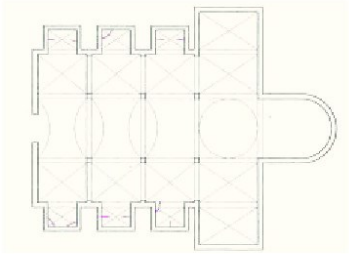
22 - RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE



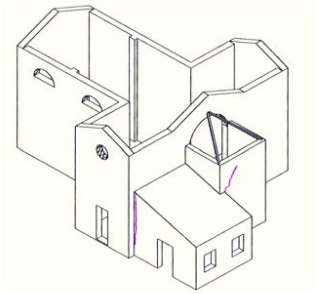
23 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE CAPPELLE



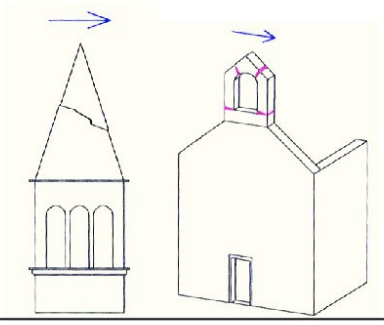
24 - VOLTE DELLE CAPPELLE



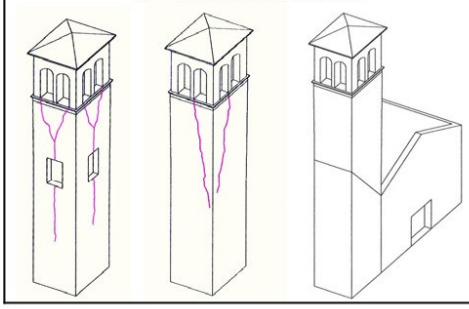
25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITÀ



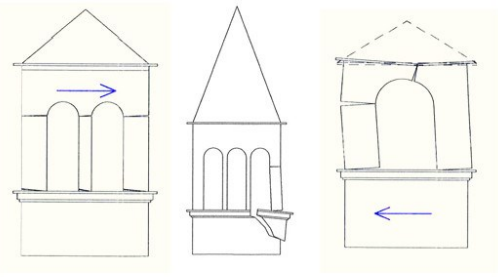
26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)



27 - TORRE CAMPANARIA



28 - CELLA CAMPANARIA



Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006

ALLEGATO 3 CARTE DEL RESTAURO

Prima Carta Italiana del Restauro (1883)

Carta del restauro

Considerando che i monumenti architettonici del passato, non solo valgono allo studio dell'architettura, ma servono, quali documenti essenzialissimi. a chiarire e ad illustrare in tutte le sue parti la storia dei vari tempi e dei vari popoli, e perciò vanno rispettati con scrupolo religioso, appunto come documenti, in cui una modificazione anche lieve, la quale possa sembrare opera originaria, trae in inganno e conduce via via a deduzioni sbagliate:

la prima sezione del III Congresso degli Ingegneri ed Architetti, presa cognizione delle circolari inviate dal Ministero della Pubblica Istruzione ai Prefetti del Regno intorno ai restauri degli edifici monumentali, raccomanda le seguenti massime:

1. I monumenti architettonici, quando sia dimostrata incontrastabilmente la necessità di porvi mano, devono piuttosto venire consolidali che riparati, piuttosto riparati che restaurati, evitando in essi con ogni studio le aggiunte e le rinnovazioni.

2. Nel caso che le dette aggiunte o rinnovazioni tornino assolutamente indispensabili per la solidità o per altre cause invincibili, e nel caso che riguardino parti non mai esistite o non più esistenti e per le quali manchi la conoscenza sicura della forma primitiva, le aggiunte o rinnovazioni si devono compiere con carattere di verso da quello del monumento, avvertendo che, possibilmente, nell'apparenza prospettica le nuove forme non urtino troppo con il suo aspetto artistico.

3. Quando si tratti invece di compiere cose distrutte o non ultimate in origine per fortuite cagioni, oppure di rifare parti tanto deperite da non poter più durare in opera, e quando non di meno rimanga il tipo vecchio da riprodurre con precisione. allora converrà in ogni modo che i pezzi aggiunti o rinnovati, pure assumendo la forma primitiva, siano di materia evidentemente diversa, o portino un segno inciso o meglio la data del restauro, sicché neanche su ciò possa l'attento osservatore venire tratto in inganno. Nei monumenti dell'antichità o in altri, ove sia notevole la importanza propriamente archeologica, le parti di compimento indispensabili alla solidità e alla conservazione dovrebbero essere lasciate coi soli piani semplici e coi soli solidi geometrici dell'abbozzo, anche quando non appariscano altro che la continuazione od il sicuro riscontro di altre parti anche sagomare ed ornate.

4. Nei monumenti, che traggono la bellezza, la singolarità, la poesia del loro aspetto dalla varietà dei marmi. dei mosaici, dei dipinti oppure dal colore della loro vecchiezza o delle circostanze pittoresche in cui si trovano, o perfino dallo stato rovinoso in cui giacciono, le opere di consolidamento. ridotte allo strettissimo indispensabile, non dovranno scemare possibilmente in nulla coteste ragioni intrinseche ed estrinseche di allenamento artistico.

5. Saranno considerate per monumenti, e trattate come tali, quelle aggiunte o modificazioni che in diverse epoche fossero state introdotte nell'edificio primitivo, salvo il caso in cui, avendo un'importanza artistica e storica manifestamente minore dell'edificio stesso e nel medesimo tempo svisando e smascherando alcune pani notevoli dì esso, si ha da consigliare la rimozione o la distruzione di tali modificazioni o aggiunte.

In tutti i casi nei quali sia possibile, o ne valga la spesa, le opere di cui si parla verranno serbate, o nel loro insieme o in alcune parti essenziali, possibilmente accanto al monumento da cui furono rimosse.

6. Dovranno eseguirsi, innanzi di por mano ad opere anche piccole di riparazione o di restauro. le fotografie del monumento, poi di mano in mano le fotografie dei principali stati del lavoro, e finalmente le fotografie del lavoro compiuto.

Questa serie di fotografie sarà trasmessa al Ministero della pubblica istruzione insieme con i disegni delle piante degli alzati e dei dettagli e, occorrendo, cogli acquarelli colorati, ove figurino con evidente chiarezza tutte le opere conservate, consolidate, rifatte, rinnovate, modificate, rimosse o distrutte. Un resoconto preciso e metodico delle ragioni e del procedimento delle opere e delle variazioni di ogni specie accompagnerà i disegni e le fotografie.

Una copia di tutti i documenti ora indicati dovrà rimanere depositata presso le fabbricerie delle chiese restaurate, o presso l'ufficio incaricato della custodia del monumento restaurato.

7. Una lapide da infiggere nel monumento restaurato ricorderà la data e le opere principali del restauro.

Carta di Atene (1931)

Conferenza Internazionale di Atene (1931).

I

La Conferenza, convinta che la conservazione del patrimonio artistico ed archeologico dell'umanità interessi tutti gli Stati tutori della civiltà, augura che gli Stati si prestino reciprocamente una collaborazione sempre più estesa e concreta per favorire la conservazione dei monumenti d'arte e di storia; ritiene altamente desiderabile che le istituzioni e i gruppi qualificati, senza menomamente intaccare il diritto pubblico internazionale, possano manifestare il loro interesse per la salvaguardia dei capolavori in cui la civiltà ha trovato la sua più alta espressione e che appaiono minacciati; emette il voto che le richieste a questo effetto siano sottoposte alla organizzazione della cooperazione intellettuale, dopo inchieste fatte dall'Ufficio internazionale dei musei e benevola attenzione dei singoli Stati. Spetterà alla Commissione internazionale della cooperazione intellettuale, dopo richieste fatte dall'Ufficio internazionale dei musei e dopo aver raccolto dai suoi organi locali le informazioni utili, di pronunciarsi sulla opportunità di passi da compiere e sulla procedura da seguire in ogni caso particolare.

II

La Conferenza ha inteso la esposizione dei principi generali e delle dottrine concernenti la protezione di monumenti. Essa constata che, pur nella diversità dei casi speciali a cui possono rispondere particolari soluzioni, predomina nei vari Stati rappresentati una tendenza generale ad abbandonare le restituzioni integrali e ad evitare i rischi mediante la istituzione di manutenzioni regolari e permanenti atte ad assicurare la conservazione degli edifici.

Nel caso in cui un restauro appaia indispensabile in seguito a degradazioni o distruzioni, raccomanda di rispettare l´opera storica ed artistica del passato, senza proscrivere lo stile di alcuna epoca. La Conferenza raccomanda di mantenere, quando sia possibile, la occupazione dei monumenti che ne assicura la continuità vitale, purché tuttavia la moderna destinazione sia tale da rispettare il carattere storico ed artistico.

III

La Conferenza ha inteso la esposizione delle legislazioni aventi per scopo nelle differenti nazioni la protezione dei monumenti d'interesse storico, artistico o scientifico; ed ha unanimemente approvato la tendenza generale che consacra in questa maniera un diritto della collettività di contro all'interesse privato. Essa ha constatato come la differenza di queste legislazioni provenga dalla difficoltà di conciliare il diritto pubblico col diritto dei particolari; ed in conseguenza, pur approvandone la tendenza generale, stimano che debba essere appropriata alle circostanze locali ed allo stato dell'opinione pubblica, in modo da incontrare le minori opposizioni possibili e di tener conto dei sacrifici che i proprietari subiscono nell'interesse generale.

Essa emette il voto che ili ogni Stato la pubblica autorità sia investita del potere di prendere misure conservative nei casi d'urgenza. Essa augura in fine che l'Ufficio internazionale dei musei pubblici tenga a giorno una raccolta ed un elenco comparato delle legislazioni vigenti nei differenti Stati su questo oggetto.

IV

La Conferenza constata con soddisfazione che i principi e le tecniche esposte nelle differenti comunicazioni particolari si ispirano ad una comune tendenza, cioè: quando si tratta di rovine, ma conservazione scrupolosa si impone, e, quando le condizioni lo permettono, è opera felice il rimettere in posto gli elementi originari ritrovati (anastilosi); e i materiali nuovi necessari a questo scopo dovranno sempre essere riconoscibili. Quando invece la conservazione di rovine messe in luce in uno scavo fosse riconosciuta impossibile, sarà consigliabile, piuttosto che votarle alla distruzione, di seppellirle nuovamente, dopo, beninteso, averne preso precisi rilievi.

È ben evidente che la tecnica dello scavo e la conservazione dei resti impongono la stretta collaborazione tra l´archeologo e l´architetto. Quanto agli altri monumenti, gli esperti, riconoscendo che ogni caso si presenta con carattere speciale, si sono trovati d´accordo nel consigliare, prima di ogni opera di consolidamento o di parziale restauro, una indagine scrupolosa delle malattie a cui occorre portare rimedio.

V

Gli esperti hanno inteso varie comunicazioni relative all'impiego di materiali moderni per il consolidamento degli antichi edifici; ed approvano l'impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna, e più specialmente del cemento armato.

Essi esprimono il parere che ordinariamente questi mezzi di rinforzo debbano essere dissimulati per non alterare l'aspetto e il carattere dell'edificio da restaurare; e ne raccomandano l'impiego specialmente nei casi in cui essi permettono di conservare gli elementi in situ evitando i rischi della disfattura e della ricostruzione.

VI

La conferenza constata che nelle condizioni della vita moderna i monumenti del mondo intero si trovano sempre più minacciati dagli agenti esterni; e, pur non potendo formulare regole generali che si adattino alla complessità dei casi, raccomanda:

1. la collaborazione in ogni paese dei conservatori dei monumenti e degli architetti coi rappresentanti delle scienze fisiche, chimiche, naturali per raggiungere risultati sicuri di sempre maggiore applicazione;

2. la diffusione, da parte dell´Ufficio internazionale dei Musei, di tali risultati mediante notizie sui lavori intrapresi nei vari Paesi e le regolari pubblicazioni.

La Conferenza, nei riguardi della conservazione della scultura monumentale, considera che l'asportazione delle opere dal quadro per quale furono create è come principio da ritenersi inopportuna. Essa raccomanda a titolo di precauzione la conservazione dei modelli originari, quando ancora esistono, e 'esecuzione dei calchi quando essi mancano.

VII

La Conferenza raccomanda di rispettare, nelle costruzioni degli edifici, il carattere e la fisionomia della città, specialmente in prossimità dei monumenti antichi, per i quali l´ambiente deve essere oggetto di cure particolari. Uguale rispetto deve aversi per talune prospettive particolarmente pittoresche.

Oggetto di studio possono anche essere le piantagioni e le ornamentazioni vegetali adatte a certi monumenti per conservare l'antico carattere. Essa raccomanda soprattutto la soppressione di ogni pubblicità, di ogni sovrapposizione abusiva di pali e fili telegrafici, di ogni industria rumorosa ed invadente, in prossimità di monumenti d'arte e di storia.

VIII

La Conferenza emette il voto:

1. che i vari Stati, ovvero le istituzioni in essi create o riconosciute competenti a questo fine, pubblichino un inventario dei monumenti storici nazionali accompagnato da fotografie e da notizie;

2. che ogni Stato crei un archivio ove siano conservati i documenti relativi ai propri monumenti storici;

3. che l´Ufficio internazionale dei Musei dedichi nelle sue pubblicazioni alcuni articoli ai procedimenti ed ai metodi di conservazione dei monumenti storici;

4. che l´Ufficio stesso studi la migliore diffusione ed utilizzazione delle indicazioni e dei dati architettonici, storici e tecnici così centralizzati.

IX

I membri della Conferenza, dopo aver visitato, nel corso dei loro lavori e della crociera di studio eseguita, alcuni dei principali campi di scavo e dei monumenti antichi della Grecia, sono stati unanimi nel rendere omaggio al Governo ellenico, che da lunghi anni mentre ha assicurato esso stesso l´attuazione di lavori considerevoli, ha accettato la collaborazione degli archeologi e degli specialisti di tutti i paesi. Essi hanno in ciò veduto un esempio che non può che contribuire alla realizzazione degli scopi di cooperazione intellettuale, di cui è apparsa così viva la necessità nel corso dei loro lavori.

X

La Conferenza, profondamente convinta che la migliore garanzia di conservazione dei monumenti e delle opere d'arte venga dall'affetto e dal rispetto del popolo e considerando che questi sentimenti possono essere assai favoriti da una azione appropriata dei pubblici poteri, emette il voto che gli educatori volgano ogni cura ad abituare l'infanzia e la giovinezza ad astenersi da ogni atto che possa degradare i monumenti e le inducano ad intenderne il significato e ad interessarsi, più in generale, alla protezione delle testimonianze d'ogni civiltà.

Carta Italiana del restauro (1932)

Consiglio Superiore per le antichità e belle arti.

Norme per il restauro dei monumenti.

Il Consiglio superiore per le Antichità e Belle Arti, portando il suo studio sulle norme che debbono reggere il restauro dei monumenti, il quale in Italia si eleva al grado di una grande questione nazionale, e edotto dalla necessità di mantenere e di perfezionare sempre più il primato incontestabile che in tale attività, fatta di scienza, di arte e di tecnica, il nostro paese detiene;

convinto della multipla e gravissima responsabilità che ogni opera di restauro coinvolge (sia che si accompagni o no a quella dello scavo); con l'assicurare la stabilità di elementi fatiscenti; col conservare o riportare il monumento a funzione d'arte; col porre le mani su di un complesso di documenti di storia ed arte tradotti in pietra, non meno preziosi di quelli che si conservano nei musei o negli archivi, col consentire studi analitici che possono avere per risultato nuove impreviste determinazioni nella storia dell'arte e della costruzione;

convinto perciò che nessuna ragione di fretta, di utilità pratica, di personale suscettibilità possa imporre in tale tema manifestazioni che non siano perfette, che non abbiano un controllo continuo e sicuro, che non corrispondano ad una bene affermata unità di criteri, e stabilendo come evidente che tali principii debbano applicarsi sia ai restauri eseguiti dai privati sia a quelli dei pubblici enti, a cominciare dalle stesse Soprintendenze preposte alla conservazione e alla indagine dei monumenti;

considerando che nell'opera di restauro debbano unirsi ma non elidersi, neanche in parte, vari criteri di diverso ordine; cioè le ragioni storiche che non vogliono cancellata nessuna delle fasi attraverso cui si è composto il monumento, né falsata la sua conoscenza con aggiunte che inducano in errore gli studiosi, né disperso il materiale che le ricerche analitiche pongono in luce; il concetto architettonico che intende riportare il monumento ad una funzione d'arte, e, quando sia possibile, ad una unità di linea (da non confondersi con l'unità di stile); il criterio che deriva dal sentimento stesso dei cittadini, dallo spirito della città, con i suoi ricordi e le sue nostalgie; e infine, quello stesso indispensabile che fa capo alle necessità amministrative attinenti ai mezzi e alla pratica utilizzazione;

ritiene che dopo oltre un trentennio di attività in questo campo, svoltasi nel suo complesso con risultati magnifici, si possa e si debba trarre da questi risultati un complesso di insegnamenti concreti a convalidare e precisare una teoria del restauro ormai stabilita con continuità nei deliberati del Consiglio superiore e nell'indirizzo seguito dalla maggior parte delle Soprintendenze alle Antichità e all'Arte medioevale e moderna e di questa teoria controllata dalla pratica enuncia i principi essenziali.

Esso afferma pertanto:

1. che al di sopra di ogni altro intento debba la massima importanza attribuirsi alle cure assidue di manutenzione e alle opere di consolidamento, volte a dare nuovamente al monumento la resistenza e la durevolezza tolta dalle menomazioni o dalle disgregazioni;

2. che il problema di ripristino mosso dalle ragioni dell'arte e dell'unità architettonica strettamente congiunte col criterio storico, possa porsi solo quando si basi su dati assolutamente certi forniti dal monumento da ripristinare e non su ipotesi, su elementi in grande prevalenza esistenti anziché su elementi prevalentemente nuovi;

3. che nei monumenti lontani ormai dai nostri usi e dalla nostra civiltà, come sono i monumenti antichi debba ordinariamente escludersi ogni completamento, e solo sia da considerarsi l'anastilosi, cioè la ricomposizione di esistenti parti smembrate con l'aggiunta eventuale di quegli elementi neutri che rappresentino il minimo necessario per integrare la linea e assicurare le condizioni di conservazione;

4. che nei monumenti che possono dirsi viventi siano ammesse solo quelle utilizzazioni non troppo lontane dalle destinazioni primitive, tali da non recare negli adattamenti necessari alterazioni essenziali all'edificio;

5. che siano conservati tutti gli elementi aventi un carattere d'arte o di storico ricordo, a qualunque tempo appartengano, senza che il desiderio dell'unità stilistica, e del ritorno alla primitiva forma intervenga ad escluderne alcuni a detrimento di altri, e solo possano eliminarsi quelli, come le murature di finestre e di intercolumni di portici che, privi di importanza e di significato, rappresentino deturpamenti inutili; ma che il giudizio di tali valori relativi e sulle rispondenti eliminazioni debba in ogni caso essere accuratamente vagliato, e non rimesso ad un giudizio personale dell'autore di un progetto di restauro;

6. che insieme col rispetto pel monumento e per le sue varie fasi proceda quello delle sue condizioni ambientali, le quali non debbono essere alterate da inopportuni isolamenti; da costruzioni di nuove fabbriche prossime invadenti per massa, per colore, per stile;

7. che nelle aggiunte che si dimostrassero necessarie, o per ottenere il consolidamento, o per raggiungere lo scopo di una reintegrazione totale o parziale, o per la pratica utilizzazione del monumento, il criterio essenziale da seguirsi debba essere, oltre a quello di limitare tali elementi nuovi al minimo possibile, anche quello di dare ad essi un carattere di nuda semplicità e di rispondenza allo schema costruttivo, e che solo possa ammettersi in stili similari la continuazione di linee esistenti nei casi in cui si tratta di espressioni geometriche prive di individualità decorativa;

8. che in ogni caso debbano siffatte aggiunte essere accuratamente ed evidentemente designate o con l'impiego di materiale diverso dal primitivo, o con l'adozione di cornici di inviluppo, semplici e prive di intagli, o con l'applicazione di sigle o di epigrafi, per modo che mai un restauro eseguito possa trarre in inganno gli studiosi e rappresentare una falsificazione di un documento storico;

9. che allo scopo di rinforzare la compagine stanca di un monumento e di reintegrare la massa, tutti i mezzi costruttivi modernissimi possano recare ausili preziosi e sia opportuno valersene quando l'adozione di mezzi costruttivi analoghi agli antichi non raggiunga lo scopo; e che del pari, i sussidi sperimentali delle varie scienze debbano essere chiamate a contributo per tutti gli altri temi minuti e complessi di conservazione delle strutture fatiscenti, nei quali ormai i procedimenti empirici debbono cedere il campo a quelli rigidamente scientifici;

10. che negli scavi e nelle esplorazioni che rimettono in luce antiche opere, il lavoro di liberazione debba essere metodicamente e immediatamente seguito dalla sistemazione dei ruderi e dalla stabile protezione di quelle opere d'arte rinvenute, che possono conservarsi in situ;

11. che come nello scavo, così nel restauro dei monumenti sia condizione essenziale e tassativa, che una documentazione precisa accompagni i lavori mediante relazioni analitiche raccolte in un giornale del restauro e illustrate da disegni e da fotografie, sicché tutti gli elementi determinati nella struttura e nella forma del monumento, tutte le fasi delle opere di ricomposizione, di liberazione, di completamento, risultino acquisite in modo permanente e sicuro.

Il Consiglio convinto infine che in tempi così ardui e complessi in cui ciascun monumento e ciascuna fase del suo restauro presentano quesiti singolari, l'affermazione dei principi generici debba essere completata e fecondata dall'esame e dalla discussione sui casi specifici, esprime i seguenti voti

a) che il giudizio del Consiglio superiore sia sistematicamente richiesto prima dell'inizio dei lavori per tutti i restauri di monumenti che escono dall'ordinaria attività conservatrice, sia che detti restauri vengano promossi e curati da privati, o da pubblici enti o dalle stesse Sovrintendenze;

b) che sia tenuto ogni anno in Roma un convegno amichevole (i cui atti potrebbero essere pubblicati nel "Bollettino d'Arte" del Ministero dell'Educazione Nazionale) nel quale i singoli Sovrintendenti espongano i casi e i problemi che loro si presentano per richiamare l'attenzione dei colleghi, per esporre le proprie proposte di soluzione;

c) che sia fatto obbligo della compilazione e della conservazione metodica dei suddetti giornali del restauro, e che possibilmente dei dati e delle notizie analitiche da quelli risultanti si curi la pubblicazione scientifica in modo analogo a quello degli scavi.

Carta di Venezia (1964)

Testo approvato dal II congresso Internazionale degli architetti e dei tecnici dei monumenti storici riunitosi a Venezia dal 25 al 31 maggio 1964. Ad esso si giunse partendo dalla proposta formulata dai proff. Roberto Pane e P. Gazzola.

Art. 1

La nozione di monumento storico comprende tanto la creazione architettonica isolata quanto l´ambiente urbano o paesistico che costituisca la testimonianza di una civiltà particolare, di un´evoluzione significativa o di un avvenimento storico. (questa nozione si applica non solo alle grandi opere ma anche alle opere modeste che, con il tempo, abbiano acquistato un significato culturale.

Art. 2

La conservazione ed il restauro dei monumenti costituiscono una disciplina che si vale di tutte le scienze e di tutte le tecniche che possono contribuire allo studio ed alla salvaguardia del patrimonio monumentale.

Art. 3

La conservazione ed il restauro dei monumenti mirano a salvaguardare tanto l´opera d´arte che la testimonianza storica.

Art. 4

La conservazione dei monumenti impone anzitutto una manutenzione sistematica.

Art. 5

La conservazione dei monumenti è sempre favorita dalla loro utilizzazione in funzioni utili alla società: una tale destinazione è augurabile, ma non deve alterare la distribuzione e l´aspetto dell´edificio. Gli adattamenti pretesi dalla evoluzione degli usi e dei consumi devono dunque essere contenuti entro questi limiti.

Art. 6

La conservazione di un monumento implica quella della sua condizione ambientale. Quando sussista un ambiente tradizionale, questo sarà conservato; verrà inoltre messa al bando qualsiasi nuova costruzione, distruzione ed utilizzazione che possa alterare i rapporti di volumi e colori.

Art. 7

Il monumento non può essere separato dalla storia della quale è testimone, né dall´ambiente in cui si trova. Lo spostamento di una parte o di tutto il monumento non può quindi essere accettato se non quando la sua salvaguardia lo esiga o quando ciò sia significato da cause di eccezionale interesse nazionale o internazionale.

Art. 8

Gli elementi di scultura, di pittura o di decorazione che sono parte integrante del monumento non possono essere separati da esso se non quando questo sia l´unico modo atto ad assicurare la loro conservazione.

Art. 9

Il restauro è un processo che deve mantenere un carattere eccezionale. Il suo scopo è di conservare e di rivelare i valori formali e storici del monumento e si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche. Il restauro deve fermarsi dove ha inizio l´ipotesi: sul piano della ricostruzione congetturale qualsiasi lavoro di completamento, riconosciuto indispensabile per ragioni estetiche e tecniche, deve distinguersi dalla progettazione architettonica e dovrà recare il segno della nostra epoca. Il restauro sarà sempre preceduto e accompagnato da uno studio storico e archeologico del monumento.

Art. 10

Quando le tecniche tradizionali si rivelano inadeguate, il consolidamento di un monumento può essere assicurato mediante l´ausilio di tutti i più moderni mezzi di struttura e di conservazione, la cui efficienza sia stata dimostrata da dati scientifici e sia garantita dall´esperienza.

Art. 11

Nel restauro di un monumento sono da rispettare tutti i contributi che definiscono l´attuale configurazione di un monumento, a qualunque epoca appartengano, in quanto l´unità stilistica non è lo scopo di un restauro. Quando in un edificio si presentano parecchie strutture sovrapposte, la liberazione di una struttura di epoca anteriore non si giustifica che eccezionalmente, e a condizione che gli elementi rimossi siano di scarso interesse, che la composizione architettonica rimessa in luce costituisca una testimonianza di grande valore storico, archeologico o estetico, e che il suo stato di conservazione sia ritenuto soddisfacente. Il giudizio sul valore degli elementi in questione e la decisione circa le eliminazioni da eseguirsi non possono dipendere dal solo autore del progetto.

Art. 12

Gli elementi destinati a sostituire le parti mancanti devono integrarsi armoniosamente nell´insieme, distinguendosi tuttavia dalle parti originali, affinché il restauro non falsifichi il monumento, e risultino rispettate, sia l´istanza estetica che quella storica.

Art. 13

Le aggiunte non possono essere tollerate se non rispettano tutte le parti interessanti dell´edificio, il suo ambiente tradizionale, l´equilibrio del suo complesso ed i rapporti con l´ambiente circostante.

Art. 14

Gli ambienti monumentali debbono essere l´oggetto di speciali cure, al fine di salvaguardare la loro integrità ed assicurare il loro risanamento, la loro utilizzazione e valorizzazione. 1 lavori di conservazione e di restauro che vi sono eseguiti devono ispirarsi ai principi enunciati negli articoli precedenti.

Art. 15

I lavori di scavo sono da eseguire conformemente a norme scientifiche ed alla "Raccomandazione che definisce i principi internazionali da applicare in materia di scavi archeologici", adottata dall´UNESCO nel 1956. Saranno assicurate l´utilizzazione delle rovine e le misure necessarie alla conservazione ed alla stabile protezione delle opere architettoniche e degli oggetti rinvenuti. Verranno inoltre prese tutte le iniziative che possano facilitare la comprensione del monumento messo in luce, senza mai snaturare i significati. È da escludersi "a priori" qualsiasi lavoro di ricostruzione, mentre è da considerarsi accettabile solo l´anastilosi, cioè la ricomposizione di parti esistenti ma smembrate. Gli elementi di integrazione dovranno sempre essere riconoscibili, e limitati a quel minimo che sarà necessario a garantire la conservazione del monumento e ristabilire la continuità delle sue forme.

Art. 16

I lavori di conservazione, di restauro e di scavo saranno sempre accompagnati da una rigorosa documentazione, con relazioni analitiche e critiche, illustrate da disegni e fotografie. Tutte le fasi di lavoro di liberazione, come gli elementi tecnici e formali identificati nel corso dei lavori, vi saranno inclusi.

Tale documentazione sarà depositata in pubblici archivi e verrà messa a disposizione degli studiosi. La sua pubblicazione è vivamente raccomandabile.

Carta Italiana del Restauro (1972)

Il Ministero della Pubblica Istruzione nell'intento di pervenire a criteri uniformi nella specifica attività dell'Amministrazione delle Antichità e Belle Arti nel campo della conservazione del patrimonio artistico, ha rielaborato, sentito il parere del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti, le norme sui restauro. Tali norme prendono il nome di >; sono precedute da una breve relazione e seguite da quattro distinte relazioni contenenti istruzioni per:

1) La salvaguardia ed il restauro delle antichità;

2) La condotta dei restauri architettonici;

3) L'esecuzione dei restauri pittorici e scultorei;

4) La tutela dei centri storici.

Le relazioni sono da ritenersi documenti integranti la Carta stessa.

Relazione

La coscienza che le opere d'arte, intese nell'accezione più vasta che va dall'ambiente urbano ai monumenti architettonici a quelli di pittura e scultura, e dal reperto paleolitico alle espressioni figurative delle culture popolari, debbano essere tutelate in modo organico e paritetico, porta necessariamente alla elaborazione di norme tecnico-giuridiche che sanciscono i limiti entro i quali va intesa la conservazione, sia come salvaguardia e prevenzione, sia come intervento di restauro propriamente detto. In tal senso costituisce titolo d'onore della cultura italiana che, a conclusione di una prassi di restauro che via via si era emendata dagli arbitri del restauro di ripristino, venisse elaborato già nel 1931 un documento che fu chiamato "Carta del Restauro", dove, sebbene l'oggetto fosse ristretto ai monumenti architettonici, facilmente potevano attingersi ed estendersi le norme generali per ogni restauro anche di opere d'arte pittoriche e scultoree. Disgraziatamente tale "Carta del Restauro" non ebbe mai forza di legge, e quando, successivamente, per la sempre maggiore coscienza che si veniva a prendere dei pericoli ai quali esponeva le opere d'arte un restauro condotto senza precisi criteri tecnici, si intese, nel 1938, sovvenire a questa necessità, sia creando l'istituto Centrale del Restauro per le opere d'arte, sia incaricando una Commissione ministeriale di elaborare delle norme unificate che a partire dall'archeologia abbracciassero tutti i rami delle arti figurative; tali norme, da definirsi senz'altro auree, rimasero anch'esse senza forza di legge, quali istruzioni interne dell'Amministrazione, né la teoria o la prassi che in seguito vennero elaborate dall'Istituto Centrale del Restauro furono estese a tutti i restauri di opere d'arte della Nazione. Il mancato perfezionamento giuridico di tale regolamentazione di restauro non tardò a rivelarsi come deleterio, sia per lo stato di impotenza in cui lasciava davanti agli arbitrii del passato anche in campo di restauro (e soprattutto di sventramenti e alterazioni di antichi ambienti), sia in seguito alle distruzioni belliche, quando un comprensibile ma non meno biasimevole sentimentalismo, di fronte ai monumenti danneggiati o distrutti, venne a forzare la mano e a ricondurre a ripristini e a ricostruzioni senza quelle cautele e remore che erano state vanto dell'azione italiana di restauro. Né minori guasti dovevano prospettarsi per le richieste di una malintesa modernità e di una grossolana urbanistica, che, nell'accrescimento delle città e col movente del traffico, portava proprio a non rispettare quel concetto di ambiente, che, oltrepassando il criterio ristretto del monumento singolo, aveva rappresentato una conquista notevole della "Carta del Restauro" e delle successive istruzioni. Riguardo al più dominabile campo delle opere d'arte, pittoriche e scultoree, sebbene, anche in mancanza di norme giuridiche, una maggiore cautela del restauro abbia evitato danni gravi quali le conseguenze delle esiziali puliture integrali, come purtroppo è avvenuto all'Estero, tuttavia l'esigenza dell'unificazione di metodi si è rivelata imprescindibile, anche per intervenire validamente sulle opere di proprietà privata, ovviamente non meno importanti, per il patrimonio artistico nazionale, di quelle di proprietà statale o comunque pubblica.

Carta del Restauro

Art. 1)

Tutte le opere d'arte di ogni epoca, nell'accezione più sta che va dai monumenti architettonici a quelli di pittura e scultura anche se in frammenti, e dal reperto paleolitico alle espressioni figurative delle culture popolari e dell'arte contemporanea a qualsiasi persona o ente

appartengano, ai fini della loro salvaguardia e restauro, sono oggetto delle presenti istruzioni che prendono il nome di "Carta del Restauro 1972".

Art. 2)

Oltre alle opere indicate nell'articolo precedente vengono a queste assimilate, per assicurarne la salvaguardia e il restauro, i complessi di edifici d'interesse monumentale, storico o ambientale, particolarmente i centri storici; le collezioni artistiche e gli arredamenti conservati nella loro disposizione tradizionale; i giardini e i parchi che vengono considerati di particolare importanza.

Art. 3)

Rientrano nella disciplina delle presenti istruzioni, oltre alle opere definite agli artt. 1 e 2, anche le operazioni volte ad assicurare la salvaguardia e il restauro dei resti antichi in rapporto alle ricerche terrestri e subacquee.

Art. 4)

S'intende per salvaguardia qualsiasi provvedimento conservativo che non implichi l'intervento diretto sull'opera: s'intende per restauro qualsiasi intervento volto a mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere integralmente al futuro le opere e gli oggetti definiti agli articoli precedenti.

Art. 5)

Ogni Soprintendenza ed Istituto responsabile in materia di conservazione del patrimonio storico-artistico e culturale compilerà un programma annuale e specifico dei lavori di salvaguardia e di restauro nonché delle ricerche nel sottosuolo e sott'acqua, da compiersi per conto sia dello Stato sia di altri Enti o persone, che sarà approvato dal Ministero della Pubblica Istruzione su conforme parere del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti. Nell'ambito di tale programma, anche successivamente alla presentazione dello stesso, qualsiasi intervento sulle opere di cui all'art. 1 dovrà essere illustrato e giustificato da una relazione tecnica dalla quale risulteranno oltre alle vicissitudini conservative dell'opera lo stato attuale della medesima, la natura degli interventi ritenuti necessari e la spesa occorrente per farvi fronte. Detta relazione sarà parimenti approvata dal Ministero della Pubblica Istruzione, previo, per i casi emergenti o dubbi e per quelli previsti dalla legge, parere del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti.

Art. 6)

In relazione ai fini ai quali per l'art. 4 devono corrispondere le operazioni di salvaguardia e restauro, sono proibiti indistintamente, per tutte le opere d'arte di cui agli articoli 1, 2, 3:

1 - completamenti in stile o analogici, anche in forme semplificate e pur se vi siano documenti grafici o plastici che possano indicare quale" fosse o dovesse apparire l'aspetto dell'opera finita;

2 - remozioni o demolizioni che cancellino il passaggio dell'opera attraverso il tempo, a meno che non si tratti di limitate alterazioni deturpanti o incongrue rispetto ai valori storici dell'opera o di completamenti in stile che falsifichino l'opera;

3 - remozione, ricostruzione o ricollocamento in luoghi diversi da quelli originari; a meno che ciò non sia determinate da superiori ragioni di conservazione;

4 - alterazione delle condizioni accessorie o ambientali sulle quali e arrivata sino al nostro tempo l'opera d'arte, il complesso monumentale o ambientale, il complesso d'arredamento, il giardino, il parco;

5 - alterazione o remozione delle patine.

Art. 7)

In relazione ai medesimi fini di cui all'art. 6 e per tutte indistintamente le opere di cui agli articoli 1, 2, 3 sono ammesse le seguenti operazioni o reintegrazioni:

1 - aggiunte di parti accessorie in funzione statica o reintegrazione di piccole parti storicamente accertate attuate secondo i casi o determinando in modo chiaro la periferia delle integrazioni oppure adottando materiale differenziato seppure accordato, chiaramente distinguibile a occhio nudo in particolare nei punti di raccordo con le parti antiche, inoltre siglate e datate ove possibile;

2 - puliture che, per le pitture e le sculture policrome, non devono giungere mai allo smalto del colore, rispettando patina ed eventuali vernici antiche; per tutte le altre specie di opere non dovranno arrivare alla nuda superficie della materia di cui constano le opere stesse;

3 - anastilosi sicuramente documentate, ricomposizione di opere andate in frammenti, sistemazione di opere lacunose, ricostituendo gli interstizi di lieve entità con tecnica chiaramente differenziabile a occhio nudo o con zone neutre accordate al livello diverse dalle parti originarie, o lasciando in vista il supporto originario, comunque mai integrando ex novo zone figurate e inserendo elementi determinanti per la figuratività dell'opera;

4 - modificazione e nuove inserzioni a scopo statico e conservativo della struttura interna o nel sostrato o supporto, purché all'aspetto, dopo compiuta l'operazione, non risulti alterazione né cromatica né per la materia in quanto osservabile in superficie;

5 - nuovo ambientamento o sistemazione dell'opera, quando non esistano più o siano distrutti l'ambientamento o la sistemazione tradizionale, o quando le condizioni di conservazione esigano la remozione.

Art. 8)

Ogni intervento sull'opera o anche in contiguità dell'opera ai fini di cui all'art. 4 deve essere eseguito in modo tale e con tali tecniche e materie da potere dare affidamento che nel futuro non renderà impossibile un nuovo eventuale intervento di salvaguardia o di restauro. Inoltre ogni intervento deve essere preventivamente studiato e motivato per iscritto (art. 5) e del suo corso dovrà essere tenuto un giornale, al quale farà seguito una relazione finale, con la documentazione fotografica di prima, durante e dopo l'intervento. Verranno inoltre documentate tutte le ricerche e analisi eventualmente compiute col sussidio della fisica, la chimica, la microbiologia ed altre scienze. Di tutte queste documentazioni sarà tenuta copia nell'archivio della Soprintendenza competente, un'altra copia inviata all'Istituto Centrale del Restauro. Nel caso di puliture, in un luogo possibilmente marginale della zona operata, dovrà essere conservato un campione dello stadio anteriore intervento, mentre ne l caso di aggiunte, le parti rimosse dovranno possibilmente essere conservate documentate in uno speciale archivio-deposito delle Soprintendenze competenti.

Art. 9)

L'uso di nuovi procedimenti di restauro e di nuove materie, rispetto ai procedimenti e alle materie il cui uso è vigente o comunque ammesso, dovrà essere autorizzato dal Ministero della P.I. su conforme e motivato parere dell'Istituto Centrale del Restauro, a cui spetterà anche di promuovere azione presso il Ministero stesso per sconsigliare materie e metodi antiquati, nocivi e comunque non collaudati, suggerire nuovi metodi e l'uso di nuove materie, definite le ricerche alle quali si dovesse provvedere con un'attrezzatura e con specialisti al di fuori dell'attrezzatura e dell'organico a sua disposizione.

Art. 10)

I provvedimenti intesi a conservare dalle azioni inquinanti e dalle variazioni atmosferiche, termiche e igrometriche, le opere di cui agli artt. 1, 2, 3, non dovranno essere tali da alterare sensibilmente l'aspetto della materia e il colore delle superfici, o da esigere modifiche sostanziali e permanenti dell'ambiente in cui le opere storicamente sono state trasmesse. Qualora tuttavia modifiche del genere fossero indispensabili per il superiore fine della conservazione, tali modifiche dovranno essere fatte in modo da evitare qualsiasi dubbio sull'epoca in cui sono state eseguite e con le modalità più discrete.

Art. 11)

I metodi specifici di cui avvalersi come procedure di restauro singolarmente per i monumenti architettonici, pittorici, scultorei, per i centri storici nel loro complesso, nonché per l'esecuzione degli scavi, sono specificati agli allegati a, b, c, d, alle presenti istruzioni.

Art. 12)

Nei casi in cui sia dubbia l'attribuzione delle competenze tecniche o sorgano conflitti in materia, deciderà il Ministro, sulla scorta delle relazioni dei Soprintendenti o capi dell'Istituto interessati, sentito il Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti.

ALLEGATO A: ISTRUZIONI PER LA CONDOTTA DEI RESTAURI ARCHITETTONICI.

Premesso che le opere di manutenzione tempestivamente eseguite assicurano lunga vita ai monumenti, evitando L'aggravarsi dei danni, si raccomanda la maggiore cura possibile nella continua sorveglianza degli immobili per i provvedimenti di carattere preventivo, anche al fine di evitare interventi di maggiore ampiezza.

Si ricorda inoltre la necessità di considerare tutte le operazioni di restauro sotto il sostanziale profilo conservativo, rispettando gli elementi aggiunti ed evitando comunque interventi innovativi o di ripristino.

Sempre allo scopo di assicurare la sopravvivenza dei monumenti, va inoltre attentamente vagliata la possibilità di nuove utilizzazioni degli antichi edifici monumentali, quando queste non risultino incompatibili con gli interessi storico-artistici. I lavori di adattamento dovranno essere limitati al minimo, conservando scrupolosamente le forme esterne ed evitando sensibili alterazioni all'individualità tipologica, all'organismo costruttivo ed alla sequenza dei percorsi interni.

La redazione del progetto per il restauro di un'opera architettonica deve essere preceduta da un attento studio sul monumento condotto da diversi punti di vista (che prendano in esame la sua posizione nel contesto territoriale o nel tessuto urbano, gli aspetti tipologici, le emergenze e qualità formali, i sistemi e i caratteri struttivi, ecc.), relativamente all'opera originaria, come anche alle eventuali aggiunte o modifiche. Parte integrante di questo studio saranno ricerche bibliografiche, iconografiche ed archivistiche, ecc. per acquisire ogni possibile dato storico. Il progetto si baserà su un complete rilievo grafico e fotografico da interpretare anche sotto il profilo metrolologico, dei tracciati regolari, e dei sistemi proporzionali e comprenderà un accurato specifico studio per la verifica delle condizioni di stabilità.

L'esecuzione dei lavori pertinenti al restauro dei monumenti, consistendo in operazioni spesso delicatissime e sempre di grande responsabilità, dovrà essere affidata ad imprese specializzate e possibilmente condotta "in economia", invece che contabilizzata "a misura" o "a cottimo".

I restauri debbono essere continuamente vigilati o diretti per assicurarsi della buona esecuzione e per poter subito intervenire qualora si manifestino fatti nuovi, difficoltà o dissesti murari; per evitare infine, specie quando operano il piccone e il martello, che scompaiano elementi prima ignorati od eventualmente sfuggiti all'indagine preventiva, ma certamente utili alla conoscenza dell'edificio ed alla condotta del restauro. In particolare il direttore dei lavori, prima di raschiare tinteggiature o eventualmente rimuovere intonaci deve accertare l’esistenza o meno di qualsiasi traccia di decorazioni, quali fossero le originarie grane e coloriture delle pareti e delle volte.

Esigenza fondamentale del restauro è quella di rispettare e salvaguardare l'autenticità degli elementi costitutivi. Questo principio deve sempre guidare e condizionare le scelte operative. Per esempio, nel caso di murature fuori piombo, anche se perentorie necessità ne suggeriscano la demolizione e la ricostruzione, va preliminarmente esaminata e tentata la possibilità di raddrizzamento senza sostituire le murature originarie.

Così la sostituzione delle pietre corrose potrà avvenire soltanto per comprovate gravissime esigenze.

Le sostituzioni e le eventuali integrazioni di paramenti murari, ove necessario e sempre nei limiti più stretti, dovranno essere sempre distinguibili dagli elementi originari, differenziando i materiali o le superfici di nuovo impiego; ma in genere appare preferibile operare lungo la periferia dell'integrazione con un chiaro e persistente segno continuo a testimonianza dei limiti dell'intervento. ciò potrà ottenersi con laminetta di metallo idoneo, con una continua serie di sottili frammenti di laterizi o con solchi visibilmente più larghi e profondi, secondo i diversi casi.

Il consolidamento delle pietre o di altri materiali dovrà essere sperimentalmente tentato quando i metodi lungamente provati dall'Istituto Cent rale del Restauro diano effettive garanzie. Ogni precauzione dovrà essere adottata per evitare l'aggravarsi delle situazioni; così pure ogni intervento dovrà essere messo in opera per eliminare le cause dei danni. Per esempio, appena si notano pietre spaccate da grappe o perni di ferro che con l'umidita si gonfiano, conviene smontare la parte offesa e sostituire il ferro col bronzo o con il rame; o meglio, con acciaio inossidabile, che presenta il vantaggio di non macchiare le pietre.

Le sculture in pietra poste all'esterno degli edifici o nelle piazze debbono essere vigilate, intervenendo quando sia possibile adottare, attraverso la prassi sopraindicata, un metodo

collaudato di consolidamento o di protezione anche stagionale. Qualora ciò risulti impossibile, converrà trasferire la scultura in un locale interno.

Per la buona conservazione delle fontane di pietra o di bronzo, occorre decalcificare l'acqua, eliminando le incrostazioni calcaree e le periodiche dannose ripuliture.

La patina delle pietre deve essere conservata per evidenti ragioni storiche, estetiche ed anche tecniche, in quanto essa disimpegna in genere funzioni protettive, come e attestato dalle corrosioni che prendono inizio dalle lacune della patina. Si possono asportare le materie accumulate sopra le pietre -detriti polverosi, fuliggine, guano di colombi, ecc. -usando solo spazzole vegetali o getti d'aria a pressione moderata. Dovranno perciò essere evitate le spazzole metalli - che, i raschietti, come pure sono, in generale, da escludere getti a forte pressione di sabbia naturale, di acqua e di vapore e perfino sconsigliabili i lavaggi di qualsiasi natura.

ALLEGATO B: ISTRUZIONI PER L'ESECUZIONE DI RESTAURI PITTORICI O SCULTOREI. OPERAZIONI PRELIMINARI.

La prima operazione da compiere, prima di ogni intervento di restauro su qualsiasi opere d'arte pittorica o scultorea, è un'accurata ricognizione dello stato di conservazione. In tale ricognizione rientra l'accertamento dei vari strati materici di cui l'opera può risultare composta - o se originari o aggiunti -e la determinazione approssimativa delle varie epoche nelle quali le stratificazioni, le modifiche, le aggiunte vennero a prodursi. Verrà quindi redatto un resoconto che costituirà parte integrante del programma e l'esordio del giornale di restauro. Successivamente dovranno eseguirsi, dell'opera, le fotografie indispensabili a documentarne lo stato precedente all'intervento di restauro, e tali fotografie verranno eseguite, a seconda dei casi, oltre che a luce naturale, a luce monocromatica, ai raggi ultravioletti semplici o filtrati, a raggi infrarossi. E' sempre consigliabile eseguire, anche in casi che non rivelino a occhio nudo delle sovrapposizioni, radiografie a raggi molli. Nel caso di pitture mobili, anche il tergo del dipinto andrà fotografato.

Se dalle documentazioni fotografiche, che saranno annotate nel giornale di restauro, risulteranno degli elementi problematici, questi andranno riferiti nella loro problematicità.

Dopo aver eseguito le fotografie dovranno operarsi dei prelievi minimi che interessino tutti gli strati fino al supporto in luoghi n capitali dell'opera, per compierne delle sezioni stratigrafiche, qualora esistano stratificazioni o vi sia da accertare lo stato della preparazione.

Dei rilievi dovrà essere segnato un punto preciso nella fotografia luce naturale e apposta l'annotazione col riferimento alla fotografia nel giornale di restauro.

Per quanto riguarda i dipinti murali, o su pietra, terracotta o altro supporto (immobili), occorrerà assicurarsi delle condizioni del supporto in relazione all'umidità, definire se si tratti di umidità di infiltrazione, per condensazione o per capillarità: eseguire dei prelievi della malta e del conglomerato del muro e misurarne il grado di umidità.

Qualora si notino o si suppongano formazioni fungine, anche su queste andranno esperite analisi di microbiologia. Il problema più particolare delle sculture, ove non si tratti di sculture dipinte o verniciate, sarà di accertarsi dello stato di conservazione della materia in cui sono eseguite, ed eventualmente compiere delle radiografie.

PREVIDENZE DA ATTUARE NELL'ESECUZIONE DELL'INTERVENTO DI RESTAURO.

Le indagini preliminari avranno dato modo di orientare l'intervento di restauro nella direzione giusta, sia che si tratti di pulitura semplici di fissaggio, di remozione di dipinture, di trasporto, di ricomposizione di frammenti. Tuttavia l'indagine che sarebbe la più importante per la pittura, la determinazione della tecnica impegnata, non sempre potrà avere una risposta scientifica, e pertanto, la cautela e l'esperimento per le materie da usare nel restauro non dovranno credersi resi superflui da un riconoscimento generico, fatto su base empirica e non scientifica, della tecnica usata nella pittura in questione.

Circa la pulitura, questa potrà essere eseguita principalmente in due modi: e con mezzi meccanici e con mezzi chimici. Da escludere comunque qualsiasi mezzo che tolga la visibilità

o la possibilità di intervento e controllo diretto nel dipinto (come nella cassetta Pethenkopller e simili). I mezzi meccanici (bisturi) dovranno essere usati sempre con il controllo del pinacoscopio, anche se non sempre sotto la lente del medesimo.

I mezzi chimici (solventi) devono risultare di natura tale da poter essere immediatamente neutralizzati, inoltre volatili e tali cioè da non fissarsi durevolmente negli strati del dipinto. Prima di usarli verranno eseguiti degli esperimenti per assicurarsi che non possano intaccare la vernice originaria del dipinto ove dalle sezioni stratigrafiche risulti uno strato per lo meno presumibilmente tale.

Prima di procedere alla pulitura, con qualsiasi mezzo venga eseguita, occorre tuttavia controllare minimamente la statica del dipinto, su qualsiasi supporto risulti, e procedere al fissaggio delle parti sollevate o pericolanti. Tale fissaggio potrà essere eseguito a seconda dei casi, o localmente, o con una soluzione distesa uniformemente, la cui penetrazione possa venire assicurata da una sorgente di calore costante e non pericolosa per la conservazione del dipinto. Ma comunque il fissaggio sia eseguito, è regola stretta che venga rivolta qualsiasi traccia di fissativo dalla superficie pittorica. A questo scopo, dopo il fissaggio, dovrà essere esperito un minuto esame al pinacoscopio.

Quando si debba procedere ad una velatura generale del dipinto, per operazioni da compiere al supporto, e tassativo che tale velatura sia fatta dopo il consolidamento delle parti o sollevate o pericolanti e con un collante facilissimamente diluibile e diverse da quello impegnato nel fissaggio delle parti sollevate o pericolanti.

Se il supporto della pittura sia ligneo e attaccato da tarli, termiti ecc., si dovrà sottoporre la pittura all'azione di gas idonei a uccidere gli insetti senza danneggiare la pittura. Da evitarsi l'imbibizione con liquidi.

Qualora lo stato del supporto o quello dell'imprimitura o tutt'e due insieme - per dipinti mobili - esigano la distruzione o comunque la rimozione del supporto e la sostituzione dell'imprimitura, occorrerà che la vecchia imprimitura venga rimossa per intero a mano col bisturi, in quanto ad assottigliarla non sarebbe sufficiente, a meno che il solo supporto sia fatiscente e l'imprimitura risulti in buono stato. La conservazione, ove possibile, dell'imprimitura è sempre consigliabile per mantenere alla superficie pittorica la sua conformazione originaria.

Nella sostituzione del supporto ligneo, quando sia indispensabile, è da escludersi la sostituzione con un nuovo supporto composto di massello di legno ed è consigliabile attuare l'applicazione su un supporto rigido solo quando si sia assolutamente certi che il supporto stesso non avrà un indice di dilatazione diverso da quello del supporto rimosso. Comunque il collante del supporto alla tela del dipinto trasportato dovrà essere facilmente solubile senza danno né alla pittura né del collante che lega gli strati pittorici alla tela di trasporto.

Qualora il supporto originario sia in buono stato ma abbia bisogno di raddrizzature o di rinforzi o di parchettatura, si tenga presente che, ove non sia proprio indispensabile ai fini della fruizione estetica del dipinto, è sempre meglio non intervenire su un legno vecchio e ormai stabilizzato. Se si interviene occorre farlo con precise regole tecnologiche, che rispettino l'andamento delle fibre del legno. Di questo si dovrà prendere una sezione, individuarne la specie botanica e conoscente l'indice di dilatazione. Qualsiasi aggiunta dovrà essere compiuta con legno stagionato e a piccoli segmenti così da renderla la più inerte possibile rispetto al vecchio supporto su cui si inserisce.

La parchettatura, con qualsiasi materiale venga eseguita, deve fondamentalmente assicurare i movimenti naturali del legno su cui viene infissa.

Nel caso di dipinti su tela l'eventualità di un trasporto deve essere attuata con la graduale e controllata distruzione della tela fatiscente, mentre per l'imprimitura eventuale (o preparazione) dovranno seguirsi gli stessi criteri che per le tavole. Qualora si tratti di pitture senza preparazione in cui un colore molto liquido fu dato direttamente sul supporto (come nei bozzetti di Rubens) il trasporto non sarà possibile.

L'operazione di rintelatura, comunque venga eseguita, deve evitare compressioni eccessive e temperature troppo alte per la pellicola pittorica. Da escludersi sempre e nel modo più tassativo operazioni di applicazioni di un dipinto su tela ad un supporto rigido (muraflage).

I telai dovranno essere concepiti in modo da assicurare non solo la tensione giusta, ma possibilmente di ristabilirla automaticamente quando, per causa di variazioni termoigrometriche, la tensione venisse a cedere.

PREVIDENZE DA TENERE PRESENTI NELL'ESECUZIONE DI RESTAURI A PITTURE MURALI.

Per le pitture mobili la determinazione della tecnica può dare luogo talora a una ricerca insoluta e, allo stato attuale, insolubile, anche per le generiche categorie di pittura a tempera, a olio, a encausto, a acquarello o a pastello, per le pitture murali eseguite comunque su manufatto o direttamente su marmo, pietra ecc., la definizione del medium usato non sarà talora meno problematica (come per le pitture murali d'epoca classica), ma d'altro canto ancora più indispensabile per procedere a qualsiasi operazione di pulitura, di fissaggio, di strappo o di distacco. Soprattutto dovendosi procedere allo strappo o al distacco, prima dell'applicazione dei veli protettivi a mezzo di un collante solubile è necessario accertarsi che il diluente non scioglierà o intaccherà il medium della pittura da restaurare.

Inoltre se si tratterà di una tempera, e generalmente per le parti a tempera degli affreschi, dove certi colori non potevano essere dati a buon fresco, sarà indispensabile un fissaggio preventivo.

Talora, quando i colori della pittura murale si presentino allo stato più o meno avanzato di polverulenza, occorrerà anche una cura speciale per la spolveratura, in modo da asportare la minor parte possibile del colore polverulento originario.

Circa la fissatura del colore, bisogna orientarsi verso un fissativo che non sia di natura organica, forzi il meno possibile i toni originari, non divenga irreversibile col tempo.

La polvere andrà esaminata per vedere se contenga formazioni fungine e quali cause si possano attribuire alle formazioni delle stesse. Qualora si possano accertare le cause di queste ultime e si trovi un ungicida adatto occorrerà assicurarsi che non danneggi la pittura e possa essere facilmente rimosso.

Quando si debba necessariamente orientarsi sulla remozione del dipinto dal supporto, fra i metodi da scegliere, con equivalenti probabilità di riuscita, dovrà scegliersi lo strappo, per la possibilità che offre di recuperare la sinopia preparatoria, in caso di affreschi, ed anche perché libera la pellicola pittorica dai residui di un intonaco fatiscente o ammalato.

Circa il supporto su cui ricollocare la pellicola pittorica occorre che offra le massime garanzie di stabilità, inerzia e neutralità (assenza di pH); occorrerà altresì che possa essere costruito nelle dimensioni stesse del dipinto, senza suture intermedie, che risalterebbero inevitabilmente, col passare del tempo, sulla superficie pittorica. Il collante con cui si fisserà la tela aderente alla pellicola pittorica sul nuovo supporto dovrà potersi sciogliere con tutta facilita con un solvente che non danneggi la pittura.

Qualora si preferisca mantenere il dipinto asportato su tela, naturalmente rinforzata, il telaio dovrà essere studiato in modo e con materie tali da avere la massima stabilità, elasticità, ed automaticità nel ristabilire la tensione che per qualsiasi ragione, climatica o meno, venisse a variare.

Qualora invece che di pitture si tratti di staccare dei mosaici, occorrerà assicurarsi che le tessere, qualora non costituiscano una superficie completamente piana, siano fissate e possano essere riapplicate con la collocazione originaria. Prima dell'applicazione dei veli e dell’armatura di sostegno ci si dovrà assicurare dello stato di conservazione delle tessere ed eventualmente consolidarle. Particolare cura dovrà essere posta nel conservare le caratteristiche tettoniche della superficie.

PREVIDENZE DA TENERE PRESENTI NELL'ESECUZIONE DI RESTAURI AD OPERE DI SCULTURA.

Dopo accertata la materia ed eventualmente la tecnica con cui le sculture sono state eseguite (se in marmo, pietra, stucco, cartapesta, terracotta, terracotta invetriata, terra non cotta, terra non cotta e dipinta ecc.), ove non risultino parti dipinte e sia necessaria una pulitura, è da escludersi l'esecuzione di lavaggi tali che, anche se lasciano intatta la materia, ne intacchino la patina.

Perciò, nel caso di sculture di scavo o trovate in acqua (mare, fiumi ecc.) se vi saranno incrostazioni, queste dovranno essere rimosse preferibilmente con mezzi meccanici, o, se con solventi, che questi siano tali da non intaccare la materia della scultura e tanto meno fissarvisi.

Qualora si tratti di sculture in legno e questo sia in stato fatiscente, l'uso di fissativi dovrà essere subordinato alla conservazione dell'aspetto originario della materia lignea.

Se il legno sia infestato da tarli, termiti ecc., occorrerà sottoporlo all'azione di gas idonei, ma quanto più possibile si deve evitare l'imbibizione con liquidi, che, anche in assenza di parti dipinte, potrebbero alterare l'aspetto del legno.

Nel caso di sculture ridotte in frammenti, l'uso di eventuali perni, sostegni ecc., dovrà essere subordinato alla scelta di metallo non ossidabile. Per gli oggetti in bronzo si raccomanda una particolare cura per la conservazione della patina nobile (atacamite, malachite ecc.), sempre che al di sotto di essa non esistano gradi di corrosione in atto.

AVVERTENZE GENERALI PER LA RICOLLOCAZIONE DI OPERE D'ARTE RESTAURATE

Come linea di condotta assoluta non si dovrà mai rimettere un'opera d'arte restaurata nel luogo originario, se il restauro fu occasionato dallo stato termoigrometrico del luogo in generale o della parete in particolare, se il luogo o la parete non avranno subito interventi tali (risanamento, climatizzazione ecc.) che garantiscano la conservazione e la salvaguardia dell'opera d'arte.

ALLEGATO C: ISTRUZIONI PER LA TUTELA DEI CENTRI STORICI.

Ai fini dell'individuazione dei Centri Storici, vanno presi in considerazione, non solo i vecchi "centri" urbani tradizionalmente intesi, ma -più in generale -tutti gli insediamenti umani le cui strutture, unitarie o frammentarie, anche se parzialmente trasformate nel tempo, siano state costituite nel passato o, tra quelle successive, quelle eventuali aventi particolare valore di testimonianza storica o spiccate qualità urbanistiche o architettoniche.

Il carattere storico va riferito all'interesse che detti insediamenti presentano quali testimonianze di civiltà del passato e quali documenti di cultura urbana, anche indipendentemente dall'intrinseco pregio artistico o formale o dal loro particolare aspetto ambientale, che ne possono arricchire o esaltare ulteriormente il valore in quanto non solo l'architettura, ma anche la struttura urbanistica possiede, di per se stessa, significato e valore.

Gli interventi di restauro nei Centri Storici hanno il fine di garantire -con mezzi e strumenti ordinari e straordinari -il permanere nel tempo dei valori che caratterizzano questi complessi. Il restauro non va, pertanto, limitato ad operazioni intese a conservare solo i caratteri formali di singole architetture o di singoli ambienti che concorrono a definire dette caratteristiche.

Perché l'organismo urbanistico in parola possa essere adeguatamente salvaguardato anche nella sua continuità nel tempo e nello svolgimento in esso di una vita civile e moderna, occorre anzitutto che i Centri storici siano riorganizzati nel loro più ampio contesto urbano e territoriale e nei loro rapporti e connessioni con sviluppi futuri: ciò anche al fine di coordinare le azioni urbanistiche in modo da ottenere la salvaguardia e il recupero del centro storico a partire dall'esterno della città, attraverso una programmazione adeguata degli interventi territoriali. Si potrà configurare così, attraverso tali interventi (da attuarsi mediante gli strumenti urbanistici), un nuovo organismo urbano nel quale siano sottratte al centro storico le funzioni che non sono congeniali ad un suo recupero in termini di risanamento conservativo.

Il coordinamento va considerato anche in rapporto alla esigenza di salvaguardia del più generale contesto ambientale territoriale, soprattutto quando questo abbia assunto valori di particolare significato strettamente connessi alle strutture storiche così come sono pervenute a noi (come, ad esempio, la corona collinare intorno a Firenze, la laguna veneta, le centuriazioni romane della Valpadana, la zona dei trulli pugliesi ecc.).

Per quanto riguarda i singoli elementi attraverso i quali si attua la salvaguardia dell'organismo nel suo insieme, sono da prendere in considerazione, tanto gli elementi edilizi, quanto gli altri elementi costituenti gli spazi esterni (strade, piazze ecc.) ed interni (cortili, giardini, spazi liberi ecc.), ad altre strutture significanti (mura, porte, rocce ecc.), nonché eventuali elementi naturali che accompagnano l'insieme caratterizzandolo più o meno accentuatamente (contorni naturali, corsi d'acqua, singolarità fitomorfologiche ecc.).

Gli elementi edilizi che ne fanno parte vanno conservati non solo nei loro aspetti formali che ne qualificano l'espressione architettonica o ambientale, ma altresì nei loro caratteri tipologici in quanto espressione di funzioni che hanno caratterizzato nel tempo l'uso degli elementi stessi.

Ogni intervento di restauro va preceduto, ai fini dell'accertamento di tutti i valori urbanistici, architettonici, ambientali, tipologici, costruttivi ecc., da un'attenta operazione di lettura storico-critica: i risultati della quale non sono volti tanto a determinare una differenziazione operativa - poiché su tutto il complesso definito come centro storico si dovrà operare con criteri omogenei -

quanto piuttosto alla individuazione dei diversi vari gradi di intervento, a livello urbanistico e a livello edilizio, qualificandone il necessario <>.

A questo proposito occorre precisare che per risanamento conservativo devesi intendere anzitutto, il mantenimento delle strutture viario-edilizie in generale (mantenimento tracciato, conservazione maglia viaria, perimetro isolati ecc.); e inoltre il mantenimento dei caratteri generali dell'ambiente che comportino la conservazione integrata delle emergenze monumentali ed ambientali più significative e l'adattamento degli altri elementi o singoli organismi edilizi alle esigenze di vita moderna, considerando solo eccezionali le sostituzioni, anche parziali, degli elementi stessi e solo nella misura in cui ciò sia compatibile con la conservazione del carattere generale delle strutture del centro storico.

I principali tipi di intervento a livello urbanistico sono:

a) ristrutturazione urbanistica: è intesa a verificarne, ed eventualmente a correggerne laddove carenti, i rapporti con la struttura territoriale o urbana con cui esso forma unità. Di particolare importanza è l'analisi del ruolo territoriale e funzionale che il centro storico svolge nel tempo ed al presente. Attenzione speciale in questo senso va posta alla analisi ed alla ristrutturazione dei rapporti esistenti fra centro storico e sviluppi urbanistici ed edilizi contemporanei, soprattutto dal punto di vista funzionale, con particolare riguardo alla compatibilità di funzioni direzionali. L'intervento di ristrutturazione urbanistica dovrà attendere a liberare centri storici da quelle destinazioni funzionali, tecnologiche o, in generale d'uso, che provocano un effetto caotico e degradante degli stessi;

b) assetto viario: va riferito all'analisi ed alla revisione dei collegamenti viari e dei flussi di traffico che ne investono la struttura, col fine prevalente di ridurne gli aspetti patologici e ricondurre l'uso del centro storico a funzioni compatibili con le strutture di un tempo. Da considerare la possibilità di immissione delle attrezzature e dei servizi pubblici strettamente connessi alle esigenze di vita del centro;

c) revisione dell'arredo urbano: esso concerne le vie, le piazze e tutti gli spazi liberi esistenti (cortili, spazi interni, giardini ecc.), ai fini di una omogenea connessione tra edifici e spazi esterni.

I principali tipi di intervento a livello edilizio sono:

1) risanamento statico ed igienico degli edifici, tendente al mantenimento della loro struttura e ad uso equilibrato della stessa; tale intervento va attuato secondo le tecniche, le modalità e le avvertenze di cui alle istruzioni per la condotta dei restauri architettonici. In questo tipo di intervento è di particolare importanza il rispetto delle qualità tipologiche, costruttive e funzionali dell'organismo, evitando quelle trasformazioni che ne alterino i caratteri;

2) rinnovamento funzionale degli organismi interni, da permettere soltanto la dove si presenti indispensabile ai fini del mantenimento in uso dell'edificio. In questo tipo di intervento è d'importanza fondamentale il rispetto delle qualità tipologiche costruttive degli edifici, proibendo tutti quegli interventi che ne alterino i caratteri, così come gli svuotamenti della struttura edilizia o l'introduzione di funzioni che deformano eccessivamente l'equilibrio tipologico-costruttivo dell'organismo.

Strumenti operativi dei tipi di intervento sopra elencati sono essenzialmente:

- piani regolatori generali, ristrutturanti i rapporti tra centro storico e territorio, tra centro storico e città nel suo insieme;

- piani particolareggiati relativi alla ristrutturazione del centro storico;

- piani esecutivi di comparto, estesi ad un isolato o ad un insieme di elementi organicamente raggruppabili.

ALLEGATO D: ISTRUZIONI PER LA SALVAGUARDIA E IL RESTAURO DELLE ANTICHITÀ.

Oltre alle norme generali contenute negli articoli della Carta del Restauro è necessario nel campo delle antichità tenere presenti particolari esigenze relative alla salvaguardia del sottosuolo archeologico e alla conservazione e al restauro dei reperti durante le ricerche terrestri e subacquee in riferimento all'art. 3.

Il problema di primaria importanza della salvaguardia del sottosuolo archeologico è necessariamente legato alla serie di disposizioni e di leggi riguardanti l'esproprio, l'applicazione

di particolari vincoli, la creazione di riserve e parchi archeologici. In concomitanza con i vari provvedimenti da prendere nei diversi casi, sarà comunque sempre da predisporre l'accurata ricognizione del terreno volta a raccogliere eventuali dati riscontrabili in superficie, i materiali ceramici sparsi, la documentazione di elementi eventualmente affioranti, ricorrendo inoltre all'aiuto della fotografia aerea e delle prospezioni (elettriche, elettromagnetiche ecc.) del terreno, in modo che la conoscenza quanto più completa possibile della natura archeologica del terreno permetta più precise direttive per l'applicazione delle norme di salvaguardia, della natura e dei limiti dei vincoli, per la stesura dei piani regolatori, per la sorveglianza nel caso di esecuzione di lavori agricoli od edilizi.

Per la salvaguardia del patrimonio archeologico sottomarino, collegata alle leggi e disposizioni vincolanti gli scavi subacquei e volte ad impedire l'indiscriminata e inconsulta manomissione dei relitti di navi antiche e del loro carico, di ruderi sommersi e di sculture affondate, si impongono provvidenze particolarissime, a cominciare dalla esplorazione sistematica delle coste italiane con personale specializzato al fine di arrivare alla compilazione accurata di una Forma Maris con l'indicazione di tutti i relitti e i monumenti sommersi, sia ai fini della loro tutela sia ai fini della programmazione delle ricerche scientifiche subacquee. Il recupero di un relitto di una imbarcazione antica non dovrà essere iniziato prima di aver predisposto i locali e la particolare necessaria attrezzatura che permettano il ricovero dei materiali recuperati dal fondo marino, tutti quegli specifici trattamenti che richiedono soprattutto le parti lignee, con lunghi e prolungati lavaggi, bagni di particolari sostanze consolidanti, con determinate condizionamento dell'aria e della temperatura. I sistemi di sollevamento e di recupero di imbarcazioni sommerse dovranno essere studiati di volta in volta in relazione allo stato particolare dei relitti, tenendo conto anche delle esperienze acquisite internazionalmente in questo campo soprattutto negli ultimi decenni. In queste particolari condizioni di rinvenimento - come anche nelle normali esplorazioni archeologiche terrestri - dovranno considerarsi le speciali esigenze di conservazione e di restauro degli oggetti secondo il loro tipo e la loro materia: ad esempio, per i materiali ceramici e per le anfore si prenderanno tutti gli accorgimenti che consentono l'identificazione di eventuali residui o tracce del contenuto, costituenti preziosi dati per la storia del commercio e della vita nell'antichità; particolare attenzione dovrà inoltre esercitarsi per il riscontro e il fissaggio di eventuali iscrizioni dipinte, e sul corpo delle anfore.

Durante le esplorazioni archeologiche terrestri, mentre le norme di recupero e di documentazione rientrano più specificamente nel quadro delle norme relative alla metodologia degli scavi, per ciò che concerne il restauro debbono osservarsi gli accorgimenti che, durante le operazioni di scavo, garantiscano la immediata conservazione dei reperti, specialmente se essi sono più facilmente deperibili, e la ulteriore possibilità di salvaguardia e restauro definitivi. Nel caso del ritrovamenti di elementi dissolti di decorazioni in stucco o in pittura, o in mosaico o in opus sectile è necessario, prima e durante la loro rimozione, tenerli uniti con colate di gesso, con garze e adegua ti collanti, in modo da facilitarne la ricomposizione e il restauro in laboratorio. Nel recupero di vetri è consigliabile non procedere ad alcuna pulitura durante lo scavo per la facilità con cui sono soggetti a sfaldarsi. Per quel che riguarda ceramiche e terre cotte è indispensabile non pregiudicare, con lavaggi o affrettate puliture, l'eventuale presenza di pitture, vernici, iscrizioni. Particolari delicatezze s'impongono nel raccogliere oggetti o frammenti di metallo specialmente se ossidati, ricorrendo oltre che a sistemi di consolidamento, eventualmente anche ad adeguati supporti. Speciale attenzione dovrà essere rivolta alle possibile tracce o impronte di tessuti. Rientra nel quadro soprattutto dell'archeologia pompeiana l’uso, ormai largamente e brillantemente sperimentato, di ottenere calchi dei negativi di piante e di materiali organici deperibili mediante colate di gesso nei vuoti rimasti nel terreno.

Ai fini dell'attuazione di queste istruzioni si rende necessario che, durante lo svolgimento degli scavi, sia garantita la disponibilità di restauratori pronti, quando necessario, al primo intervento di recupero e fissaggio.

Con particolare attenzione dovrà esser considerato il problema del restauro di quelle opere d'arte destinate a rimanere o ad essere ricollocate, dopo il distacco, nel luogo originario, particolarmente le pitture e i mosaici. Sono stati sperimentati con successo vari tipi di supporti, di intelaiature e di collanti in relazione alle condizioni climatiche, atmosferiche ed igrometriche, che per le pitture permettono il ricollocamento negli ambienti adeguatamente coperti di un edificio antico, evitando il diretto contatto con la parte e attuano invece un facile montaggio e una sicura conservazione. Sono comunque da evitare integrazioni, dando alle lacune una tinteggiatura simili a quella dell'intonaco grezzo, come è da evitare l'uso di vernici o di cere per

ravvivare i colori perché sempre soggette ad alterazioni, bastando un'accurata pulitura delle superfici originali.

Riguardo ai mosaici è preferibile, quando è possibile, il ricollocamento nell'edificio da cui provengono e di cui costituiscono la integrante decorazione, e in tal caso, dopo lo strappo - che con i metodi moderni può essere fatto anche per grandi superfici senza operare tagli - il sistema di cementazione con anima metallica inossidabile risulta tuttora quello più idoneo e resistente agli agenti atmosferici. Per i mosaici destinati invece ad una esposizione in museo e ormai largamente usato il supporto a sandwich di materiali leggeri, resistente e maneggevole.

Particolari esigenze di salvaguardia dai pericoli derivanti dall'alterazione climatica richiedono gli interni con pitture parietali in posto (grotte preistoriche, tombe, piccoli ambienti); in questi casi e necessario mantenere costanti due fattori essenziali per la migliore conservazione delle pitture: il grado di umidità ambientale e la temperatura ambiente. Tali fattori vengono facilmente alterati da cause esterne ed estranee all'ambiente, specialmente dall'affollamento dei visitatori, da illuminazione eccessiva, da forti alterazioni atmosferiche esterne; si rende perciò necessario studiare particolari cautele anche nell'ammissione di visitatori, mediante camere di climatizzazione interposte fra l'ambiente antico da tutelare e l'esterno. Tali precauzioni vengono già applicate nell'accesso ai monumenti preistorici dipinti in Francia e in Spagna, e sarebbero auspicabili anche per molti nostri monumenti (tombe di Tarquinia).

Per il restauro dei monumenti archeologici, oltre alle norme generali contenute nella Carta del Restauro e nelle Istruzioni per la condotta dei restauri architettonici, saranno da tenere presenti alcune esigenze in relazione alle particolari tecniche antiche. Innanzitutto, quando per il restauro completo di un monumento, che ne comporta necessariamente anche lo studio storico, si debba procedere a saggi di scavo, o scoprimento delle fondazioni, le operazioni debbono essere condotte con il metodo stratigrafico che può offrire preziosi dati per le vicende e le fasi dell'edificio stesso.

Per il restauro di cortine in opus incertum, opus reticulatum, retivulatum e vittatum, se si usano la stessa quantità di tufo e gli stessi tipi di tufelli si dovranno mantenere le parti restaurate su un piano leggermente più arretrato, mentre per le cortine laterizie sarà opportuno scalpellare o rigare la superficie dei mattoni moderni. Per il restauro di struttura in opera quadrata è stato favorevolmente sperimentato il sistema di ricreare i blocchi nelle misure antiche, usando peraltro scaglie dello stesso materiale cementato con malta mescolata in superficie con polvere dello stesso materiale per ottenere un'intonazione cromatica.

Quale alternativa all'arretramento della superficie nelle integrazioni di restauro moderno, si può utilmente praticare un solco di contorno che delimiti la parte restaurata o inserirvi una sottile lista di materiali diversi. Così pure può consigliarsi in molti casi un diversificato trattamento superficiale dei nuovi materiali mediante idonea scalpellatura delle superfici moderne.

Sarà infine opportuno collocare in ogni zona restaurata targhette con la data o incidervi sigle o speciali contrassegni.

L'uso di cemento con superficie rivestita di polvere del materasso stesso del monumento da restaurare può risultare utile anche nell'integrazione di rocchi di colonne antiche di marmo o di tufo o calcare, studiando il tono più o meno scabro da tenere in relazione al tipo di monumento; in ambiente romano, il marmo bianco può essere integrato con travertino o calcare, in accostamenti già sperimentati con successo (restauro del Valadier all'arco di Tito). Nei monumenti antichi e particolarmente in quelli di epoca arcaica o classica e da evitare l'accostamento di materiali diversi e anacronistici nelle parti restaurate, che risulta stridente e offensivo anche dal punto di vista cromatico, mentre si possono usare vari accorgimenti per differenziare l'uso di materiale stesso con cui è costruito per il monumento e che è preferibile mantenere nei restauri.

Un problema particolare dei monumenti archeologici è costituito dalle coperture dei muri rovinati, per le quali e anzitutto da mantenere la linea frastagliata dal rudere, ed è stato sperimentato l'uso della stesura di uno strato di malta mista a cocciopesto che sembra dare i migliori risultati sia dal punto di vista estetico sia da quello della resistenza agli agenti atmosferici. Riguardo al problema generale del consolidamento dei materiali architettonici e delle sculture all'aperto, sono da evitare sperimentazioni con metodi non sufficientemente comprovati, tali da recare danni irreparabili.

Le provvidenze per il restauro e la conservazione dei monumenti archeologici vanno peraltro studiate anche in relazione alle differenti esigenze climatiche dei vari ambienti, particolarmente differenti in Italia".

Carta di Amsterdam (1975)

Dichiarazione di Amsterdam (1975)

Il Congresso di Amsterdam, conclusione dell'Anno europeo del patrimonio architettonico 1975, composto da delegati provenienti da tutta l'Europa, approva calorosamente la Carta europea del patrimonio architettonico, promulgata dal Comitato dei Ministri del Consiglio d'Europa, che riconosce l'architettura singolare dell'Europa quale patrimonio comune di tutti i popoli che la compongono ed afferma l'intenzione degli Stati membri di cooperare fra di loro e con gli altri Stati europei al fine di proteggerlo.

Nella stessa maniera, il Congresso afferma che il patrimonio architettonico dell'Europa è parte integrante del patrimonio culturale di tutto il mondo e nota con soddisfazione l'impegno reciproco a favorire la cooperazione e gli scambi in campo culturale, contenuto nell'Atto finale della Conferenza sulla sicurezza e la cooperazione in Europa, approvato ad Helsinki nel luglio di questo anno.

Con ciò il Congresso pone l'accento sulle seguenti considerazioni fondamentali:

a. Oltre ad avere un inestimabile valore culturale, il patrimonio architettonico europeo conduce tutti gli europei a prendere coscienza di una comunione di stoma e di destini. La sua conservazione è perciò di un'importanza vitale.

b. Il patrimonio comprende non solo edifici isolati di eccezionale valore ed il loro ambiente, ma pure gli insiemi, quartieri di città e villaggi, che offrano un interesse storico o culturale.

c. Queste ricchezze costituiscono un bene comune per tutti i popoli d'Europa; questi hanno il comune dovere di proteggerle dai pericoli che le minacciano sempre più: negligenza e degradazione, demolizione deliberata, nuove costruzioni non armoniose e circolazione eccessiva.

d. La conservazione del patrimonio architettonico deve essere considerata non come un problema marginale, ma come un obiettivo essenziale della pianificazione urbana e dell'assetto territoriale.

e. I poteri locali, cui spetta la maggior parte delle decisioni importanti in materia di assetto, sono particolarmente responsabili della protezione del patrimonio architettonico e devono aiutarsi a vicenda scambiandosi idee e informazioni.

f. La riabilitazione dei vecchi quartieri deve essere definita e realizzata, per quanto possibile, senza importanti modiche della composizione sociale dei residenti, ed in maniera tale che tutti gli strati della società beneficino di un'operazione finanziata con fondi pubblici.

g. Le misure legislative ed amministrative necessarie devono essere rafforzate e rese più efficaci in tutti i Paesi.

h. Per fronteggiare i costi del restauro, dell'assetto e della manutenzione degli edifici e dei siti di valore architettonico o storico, un adeguato aiuto finanziario deve essere messo a disposizione degli enti locali e dei proprietari privati; inoltre, si dovrebbero prevedere esenzioni fiscali per questi ultimi.

i. Il patrimonio architettonico sopravvivrà solo se sarà apprezzato dal pubblico e soprattutto dalle nuove generazioni. Perciò i programmi educativi devono preoccuparsi di più, ad ogni livello, di questo settore.

j. Bisogna incoraggiare le organizzazioni private: internazionali, nazionali e locali, in maniera che contribuiscano a suscitare l'interesse del pubblico.

k. L'architettura contemporanea è il patrimonio di domani; bisogna fare tutto h possibile per assicurare un'architettura contemporanea di alta qualità.

Nella Carta europea del patrimonio architettonico, il Comitato dei Ministri ha riconosciuto che spetta al Consiglio d'Europa assicurare la coerenza della politica degli Stati membri e promuoverne la solidarietà. È indispensabile che vengano redatti rapporti periodici sullo stato di avanzamento dei lavori di conservazione architettonica nei paesi europei, in una forma che consenta lo scambio di esperienze. Il Congresso fa appello ai governi, ai parlamentari, alle istituzioni spirituali e culturali, agli istituti professionali, alle ditte commerciali ed industriali, alle

associazioni private, ad ogni cittadino affinché appoggino gli obiettivi della Dichiarazione e facciano il possibile per attuarli. Solo così si conserverà il patrimonio architettonico insostituibile dell'Europa per l'arricchimento della vita di tutti i popoli, nel presente ed in futuro.

Al termine dei dibattiti, il Congresso sottopone le conclusioni e raccomandazioni seguenti:

A breve termine la nostra società dovrà rinunciare al patrimonio architettonico ed ai siti che formano il suo ambiente tradizionale di vita, se non sarà attuata con urgenza una nuova politica di protezione e di conservazione integrata di tale patrimonio. Bisogna proteggere le città storiche, gli antichi quartieri urbani ed i villaggi tradizionali, compresi i parchi ed i giardini storici.

La protezione di questi insiemi architettonici può essere definita solo in una prospettiva globale tenendo conto di tutti gli edifici che hanno un valore culturale, dai più prestigiosi ai più modesti, senza dimenticare quelli dell'epoca moderna, nonché dell'ambiente in cui si inseriscono. Tale protezione globale completerà la protezione puntuale dei monumenti e dei siti isolati. Il significato del patrimonio architettonico e la legittimità della sua conservazione ora sono capiti meglio. Si sa che la conservazione della continuità storica dell'ambiente è indispensabile per la conservazione o la creazione di un ambiente che consenta all'uomo di trovare la propria identità e di provare un senso di sicurezza di tonte alle trasformazioni brutali della società: una nuova urbanistica cerca di ritrovare gli spazi chiusi, la dimensione umana, l'interpretazione delle funzioni e la varietà socio-culturale che caratterizzano i tessuti urbani antichi.

Ma si scopre pure che la conservazione degli edifici esistenti favorisce il risparmio delle risorse e la lotta contro lo spreco, una delle grandi preoccupazioni della società contemporanea. Bisogna aggiungere che la conservazione ricorre ad artisti ed artigiani particolarmente qualificati, il cui talento e la cui abilità devono essere conservati e tramandati. Infine, la riabilitazione dell'habitat esistente contribuisce a ridurre le invasioni di terre agricole e permette di evitare o di ridurre sensibilmente gli spostamenti della popolazione, il che costituisce un notevole vantaggio sociale della politica di conservazione.

Sebbene per tutte queste ragioni la legittimità della conservazione del patrimonio architettonico appaia oggi con forza rinnovata, è necessario darle una base solida e definitiva; perciò essa deve suscitare ricerche di carattere fondamentale e essere inserita in tutti i programmi di educazione e di sviluppo culturale.

1 La conservazione del patrimonio architettonico deve essere uno dei principali obiettivi della pianificazione urbana e dell'assetto territoriale.

La pianificazione urbana e l'assetto territoriale devono integrare le esigenze della conservazione del patrimonio architettonico e non trattarla più in maniera frazionata o quale elemento secondario, come spesso accadde in un passato recente. Perciò è diventato indispensabile un dialogo permanente tra conservatori e pianificatori. Gli urbanisti debbono riconoscere che gli spazi, non essendo equivalenti, bisogna trattarli secondo i loro caratteri specifici. L'integrazione dei valori estetici e culturali del patrimonio architettonico deve condurre a fissare per gli insiemi antichi particolari obiettivi e regole di assetto. Non ci si deve limitare a sovrapporre, senza coordinarle, le solite regole di pianificazione e le norme specifiche di protezione degli edifici storici. Per rendere possibile questa integrazione, occorre fare l'inventario degli edifici, degli insiemi architettonici e dei siti, con la delimitazione delle zone periferiche di protezione. Sarebbe auspicabile che questi inventari fossero largamente diffusi, soprattutto alle autorità locali e regionali, nonché ai responsabili dell'assetto territoriale e dell'urbanistica, per attirare la loro attenzione sugli edifici e sulle zone che meritano di essere protetti. Tale inventario fungerà da base realistica alla conservazione, come elemento qualitativo fondamentale per la gestione degli spazi. La politica di assetto regionale deve integrare le esigenze della conservazione del patrimonio architettonico e contribuirvi. Soprattutto essa può stimolare nuove attività ad insediarsi in zone di declino economico, in modo da frenarne lo spopolamento e, in teoria, impedire la degradazione degli edifici antichi. D'altronde, le misure decise per lo sviluppo delle periferie delle agglomerazioni devono essere orientate in maniera da attenuare le pressioni gravanti sui vecchi quartieri. A tale riguardo, le politiche dei trasporti, dell'occupazione ed una migliore suddivisione dei poli d'attività urbana possono avere notevoli incidenze sulla conservazione del patrimonio architettonico. Lo sviluppo di una politica continua di conservazione esige un largo decentramento e la presa in considerazione delle culture locali. Ciò presuppone che vi siano dei responsabili della conservazione ad ogni livello (centrale, regionale e locale) in cui sono prese le decisioni in materia di assetto. Ma la conservazione del patrimonio architettonico non riguarda solo gli

esperti. L'appoggio dell'opinione pubblica è essenziale. La popolazione deve partecipare, sulla base di un'informazione obiettiva e completa, alla elaborazione degli inventari fino alla preparazione delle decisioni. Infine, la conservazione del patrimonio si inserisce in una nuova prospettiva generale, attenta a nuovi criteri di qualità e di misura, che ormai deve permettere di rovesciare scelte ed obiettivi troppo spesso determinati a breve scadenza, con una visione limitata della tecnica e, in fin dei conti, con una concezione superata.

2 La conservazione integrata impegna la responsabilità degli enti locali ed esige la partecipazione dei cittadini.

Gli enti locali debbono avere competenze precise ed ampie in materia di protezione del patrimonio architettonico. Applicando i principi di una conservazione integrata, essi devono tener conto della continuità delle realtà sociali e fisiche esistenti nelle comunità urbane e rurali. Il futuro non può e non deve essere costruito a spese del passato. Per attuare tale politica, che rispetti con intelligenza, sensibilità ed economia l'ambiente costruito dall'uomo, gli enti locali debbono:

- basarsi su un'analisi del tessuto degli insiemi urbani e rurali, soprattutto sulla loro struttura, sulle loro funzioni complesse, nonché sulle loro caratteristiche architettoniche e volumetriche degli spazi costruiti ed aperti;

- attribuire agli edifici funzioni che rispondano (rispettandone h carattere) alle attuali condizioni di vita e ne garantiscano perciò la sopravvivenza;

- essere attenti al fatto che gli studi prospettivi sull'evoluzione dei servizi pubblici (educativi, amministrativi, medici) dimostrano che il gigantismo è sfavorevole alla loro qualità ed efficacia; - dedicare una parte adeguata del bilancio a questa politica. In tale contesto essi dovrebbero chiedere ai governi lo stanziamento di fondi specifici. Le sovvenzioni ed i prestiti concessi a privati e a vari gruppi dagli enti locali debbono incitare il loro impegno morale e finanziario;

- scegliere delegati responsabili per tutte le questioni riguardanti il patrimonio architettonico ed i siti;

- istituire organi di pubblica utilità creando un legame diretto fra gli utenti potenziali di vecchi edifici ed i loro proprietari;

- agevolare la formazione e l'efficace funzionamento di associazioni volontarie di restauro e riabilitazione.

I poteri locali devono perfezionare le loro tecniche di consultazione per conoscere il parere dei gruppi interessati ai piani di conservazione e tenerne conto fin dall'elaborazione dei loro progetti. Nel quadro della politica d'informazione del pubblico, essi devono prendere le decisioni alla luce del giorno, usando un linguaggio chiaro ed accessibile a tutti affinché la popolazione possa conoscere, discutere ed apprezzare i motivi delle decisioni. Dovrebbero essere previsti luoghi d'incontro per l'intesa pubblica. In questo senso dovrebbero diventare una pratica corrente il ricorso alle riunioni pubbliche, alle esposizioni, ai sondaggi d'opinione, ai mass-media ed a tutti gli altri mezzi idonei. Uno dei principali imperativi dell'azione comunale è l'educazione dei giovani in campo ambientale era loro associazione a tutti i compiti di salvaguardia. Le proposte complementari o alternative presentate da associazioni o privati dovrebbero essere considerate come un pregevole contributo alla pianificazione. Infine, agli enti locali conviene comunicarsi le rispettive esperienze. Perciò, essi dovrebbero avviare uno scambio costante di informazioni e di idee attraverso ogni canale possibile.

3 La presa in considerazione dei fattori sociali condiziona il successo di qualsiasi politica di conservazione integrata.

Una politica di conservazione implica pure l'integrazione del patrimonio architettonico nella vita sociale. Lo sforzo di conservazione deve essere misurato non solo sulla base del valore culturale degli edifici, ma pure del loro valore di utilizzo. I problemi sociali della conservazione integrata possono essere risolti solo tramite un riferimento congiunto a queste due scale di valori. La riabilitazione di un insieme facente parte del patrimonio architettonico non è necessariamente più costosa di una costruzione nuova su un'infrastruttura esistente, o della costruzione di un insieme in un sito non urbano. Dunque, non bisogna dimenticare, nel paragonare il costo dei tre sistemi (con conseguenze sociali diverse), di valutare pure il costo sociale. Vi sono interessati non solo i proprietarie gli inquilini, ma pure gli artigiani, i

commercianti, e gli imprenditori che ci abitano e che assicurano la vita e la manutenzione del quartiere. Per evitare che le leggi di mercato si applichino in tutto il loro rigore nei quartieri restaurati (provocando l'allontanamento degli abitanti che non possono pagare gli affitti più cari), i poteri pubblici devono intervenire per moderare i meccanismi economici come fanno sempre quando si tratta di alloggi sociali. Gli interventi finanziari possono suddividersi in premi al restauro per i proprietari, regolati dalla fissazione di un massimo per gli affitti, ed in indennità di affitto agli inquilini per diminuire ed eventualmente completare lo scarto tra vecchi e nuovi affitti. Per permettere alla popolazione di partecipare all'elaborazione dei programmi, bisogna darle gli elementi necessari per studiare la situazione: occorre perciò spiegarle da un lato il valore storico e architettonico degli edifici da conservare, dall'altro darle tutte le indicazioni sulle risistemazioni definitive e provvisorie. Tale partecipazione sarà tanto più importante quanto più ritratterà non del restauro di alcuni edifici privilegiati ma della riabilitazione di interi quartieri. Tale sensibilizzazione pratica alla cultura avrebbe un notevole vantaggio sociale.

4 La conservazione integrata esige un adeguamento delle misure legislative ed amministrative. L a nozione del patrimonio architettonico è stata estesa progressivamente dal monumento storico isolato agli insiemi architettonici urbani e rurali nonché ai contributi di epoche più recenti; perciò una profonda riforma della legislazione, completata da un rafforzamento dei mezzi amministrativi, costituisce conditio sine qua non di un'azione efficace.

La riforma deve essere guidata dalla necessità di coordinare la legislazione relativa all'assetto territoriale, da un lato, e la legislazione sul patrimonio architettonico, dall'altro. Quest'ultimo deve dare una definizione nuova del patrimonio architettonico e degli obiettivi della conservazione integrata. Inoltre, essa deve prevedere delle procedure speciali circa:

- la scelta e la delimitazione degli insiemi architettonici;

- la delimitazione delle zone periferiche di protezione e i servizi di pubblica utilità da insediarvi;

- la definizione di programmi di conservazione integrata e l'inserimento delle esposizioni di tali programmi nei piani di assetto;

- l'approvazione dei progetti e l'autorizzazione di eseguire i lavori. D'altro canto, il legislatore deve prendere le disposizioni necessarie per:

- ridistribuire in modo equilibrato i fondi di bilancio dedicati all'assetto urbano e assegnati rispettivamente alla riabilitazione ed alla costruzione;

- concedere ai cittadini che decidono di riabilitare un vecchio edificio vantaggi finanziari più o meno equivalenti a quelli di cui usufruirebbero per una costruzione nuova;

- rivedere, in funzione della nuova politica di conservazione integrata, il sistema di aiuti finanziari dello Stato e degli altri enti pubblici.

Sarebbe necessario rendere più elastica, nella misura del possibile, l'applicazione dei regolamenti e delle disposizioni connessi alla costruzione in maniera da soddisfare le esigenze della conservazione integrata. Per aumentare la capacità operativa dei poteri pubblici è necessario rivedere la struttura dell'amministrazione in modo che i servizi responsabili del patrimonio architettonico siano organizzati ai livelli idonei, con personale qualificato e sufficiente, e coni mezzi scientifici, tecnici e finanziari indispensabili. Questi servizi dovrebbero aiutare le autorità locali, cooperare con l'assetto territoriale e mantenere costanti relazioni con gli organi pubblici e privati.

5 La conservazione integrata esige adeguati mezzi finanziari.

È difficile definire una politica finanziaria adatta a tutti i Paesi e valutare le conseguenze delle varie misure che intervengono nel processo pianificatore a causa delle loro reciproche ripercussioni. Lo stesso processo è sottoposto a sua volta a fattori esterni risultanti dall'attuale struttura della società. Perciò, spetta ad ogni Stato definire i propri metodi e strumenti di finanziamento. Tuttavia, si può affermare con certezza che non ci sono Paesi europei in cui i mezzi finanziari destinati alla conservazione siano sufficienti. Si nota, inoltre, che nessun Paese europeo ha ancora ideato un meccanismo amministrativo perfettamente efficiente per soddisfare le esigenze economiche di una politica di conservazione integrata. Per riuscire a risolvere i problemi economici della conservazione integrata bisogna (ed è un fattore determinante) che sia elaborata una legislazione che sottoponga le costruzioni nuove a certe restrizione circa il volume (altezza, coefficiente di utilizzo dei suoli) e che favorisca un armonico

inserimento. Le norme di pianificazione dovrebbero scoraggiare la concentrazione e promuovere invece la riabilitazione di un rinnovamento dopo la demolizione. Bisogna ideare dei metodi che consentano di valutare i sovraccosti dovuti alle esigenze dei programmi di conservazione. Si dovrebbe disporre, nella misura del possibile, di mezzi finanziari sufficienti per aiutare i proprietari che debbano realizzare lavori di restauro a sopportare in ogni modo gli oneri complementari. Se tale aiuto fosse accettato, naturalmente si dovrebbe controllare acciocché il beneficio non sia ridotto dalle imposte. Bisogna applicare lo stesso principio perla riabilitazione di insiemi degradati di interesse storico o architettonico: ciò consentirebbe di ristabilire l'equilibrio sociale. I vantaggi finanziari e fiscali concessi attualmente per le costruzioni nuove dovrebbero essere accordati nelle medesime proporzioni per la manutenzione e la conservazione degli edifici antichi (deducendo eventualmente il sovra-costo versato). I poteri pubblici dovrebbero creare o incoraggiare la costituzione di fondi mobili fornendo i liquidi necessari alle collettività locali e alle associazioni a scopo non lucrativo. Ciò riguarda soprattutto le zone in cui il finanziamento di un programma sia a breve sia a lungo termine, potrà essere finanziato in maniera autonoma grazie al plusvalore dovuto alla forte domanda di proprietà che abbiano le trattative. È indispensabile tuttavia incoraggiare tutte le fonti di finanziamento privato, soprattutto di origine industriale. Infatti numerose iniziative private hanno dimostrato il ruolo positivo che esse possono svolgere in associazione con i poteri pubblici tanto a livello nazionale quanto locale.

6 La conservazione integrata esige una promozione dei metodi, delle tecniche e delle competenze professionali connesse al restauro ed alla riabilitazione.

I metodi e le tecniche di restauro e di riabilitazione di edifici e di insiemi storici dovrebbero essere sfruttati meglio, in modo vario. Le tecniche specializzate messe a punto in occasione del restauro degli insiemi storici importanti dovrebbero ormai essere impiegate per l'ampia gamma di edifici ed insiemi di minore interesse artistico. Occorre controllare che i materiali di costruzione tradizionali rimangano disponibili e che le arti e le tecniche tradizionali continuino ad essere applicate. La manutenzione permanente del patrimonio architettonico permetterà di evitare, a lunga scadenza, costose operazioni di riabilitazione. Ogni programma di riabilitazione dovrebbe essere studiato a fondo prima dell'esecuzione: bisogna riunire una documentazione completa sui materiali e sulle tecniche ed insieme fare un'analisi dei costi. Tale documentazione dovrebbe essere riunita nei centri adatti. I materiali e le tecniche dovrebbero essere usati solo dopo aver ottenuto l'accordo di istituzioni scientifiche neutrali. Si dovrebbero fare ricerche per l'elaborazione di un catalogo dei metodi e delle tecniche e dare vita, per tale scopo, a istituzioni scientifiche che collaborino strettamente fra di loro. Il catalogo dovrebbe essere comunicato a tutti gli interessati; ciò agevolerebbe la riforma dei metodi di restauro e di riabilitazione. È assolutamente necessario disporre dei migliori programmi di formazione del personale qualificato. Tali programmi dovrebbero essere elastici, pluri-disciplinari e comprendere un insegnamento che consenta di acquistare un'esperienza pratica "sul terreno". Lo scambio internazionale di conoscenze, <d esperienze e di tirocinanti è un elemento essenziale della formazione di tutto il personale interessato. Dovrebbe essere più facile in tal modo ottenere gli urbanisti, gli architetti, i tecnici e gli artigiani necessari per preparare i programmi di conservazione ed assicurare la promozione dei mestieri artigianali che intervengono nell'opera di restauro e che rischiano di scomparire. Le possibilità di qualificazione, le condizioni di lavoro, le retribuzioni, la sicurezza del lavoro e lo statuto sociale dovrebbero essere abbastanza attraenti per incitare i giovani a dirigersi verso le discipline connesse al restauro ed a rimanere in questo settore d'attività. Inoltre le autorità responsabili dei programmi d'insegnamento ad ogni livello, dovrebbero cercare di interessare i giovani ai vari mestieri della conservazione.

Carta Europea Del Patrimonio Architettonico (Amsterdam, 1975)

Il Comitato dei Ministri, considerato chela finalità del Consiglio d'Europa è quella di realizzare un'unione più stretta tra i suoi membri, per salvaguardare e promuovere, in particolare, gli ideali e i principi che sono il loro patrimonio comune; considerato che gli Stati membri del Consiglio d'Europa, soggetti della Convenzione culturale europea del 19 dicembre 1954, si sono impegnati, in relazione all'articolo 1 di questa Convenzione, a prendere le misure perla salvaguardia del loro apporto al patrimonio culturale comune dell'Europa ed a incoraggiare lo sviluppo; riconosciuto che il patrimonio architettonico, espressione insostituibile della ricchezza e della diversità della cultura europea, costituisce l'eredità comune a tutti i popoli e che la sua conservazione impegna la solidarietà effettiva degli Stati europei; considerato che la conservazione del patrimonio architettonico dipende ampiamente dalla sua integrazione nell'ambiente di vita dei cittadini e dalla sua considerazione nei piani territoriali ed urbanistici; vista la raccomandazione della Conferenza dei Ministri europei responsabile del patrimonio architettonico, tenutasi a Bruxelles nel 1969, e la raccomandazione 589 (1970) dell'Assemblea Consultiva del Consiglio d'Europa, relativa ad una Carta del patrimonio architettonico; riafferma la sua volontà di promuovere una politica europea comune e un'azione concertata di protezione del patrimonio architettonico, impostata secondo i principi della conservazione integrata; raccomanda ai governi degli Stati membri l'adozione di misure legislative, amministrative, finanziarie ed educative necessarie per l'attuazione d'una politica di conservazione integrata del patrimonio architettonico e lo sviluppo dell'interesse del pubblico per una tale politica, tenendo conto dei risultati della campagna dell'Anno Europeo del patrimonio architettonico, organizzata nel 1975 sotto gli auspici del Consiglio d'Europa; adotta e proclamai principi della presente Carta, predisposta dal Comitato dei monumenti e siti, qui di seguito enunciati:

1 Il patrimonio architettonico europeo non è formato soltanto dai nostri monumenti più importanti, ma anche dagli insiemi degli edifici che costituiscono le nostre città e i nostri villaggi tradizionali nel loro ambiente naturale o costruito. Per molto tempo sono stati tutelati e restaurati soltanto i monumenti più importanti, senza tener conto del loro contesto. Essi però possono perdere gran parte del loro valore se questo loro contesto viene alterato. Inoltre gruppi di edifici, anche in mancanza di episodi architettonici eccezionali, possono presentare qualità ambientali che contribuiscono a dar loro un valore artistico diversificato e articolato. Questi gruppi di edifici debbono essere conservati in quanto tali. Il patrimonio architettonico costituisce una testimonianza della storia e della sua importanza nella vita contemporanea.

2 La testimonianza del passato documentata dal patrimonio architettonico costituisce un ambiente essenziale per l'equilibrio e lo sviluppo culturale dell'uomo. Gli uomini contemporanei, in presenza di una civiltà in continuo cambiamento i cui aspetti negativi sono altrettanto vistosi di quelli positivi, si rendono conto spontaneamente del valore di questo patrimonio. Esso costituisce un elemento essenziale della memoria dell'uomo d'oggi e, qualora non si trasmettesse alle generazioni future nella sua autentica ricchezza e nella sua diversità, l'umanità subirebbe un'amputazione della coscienza del suo futuro.

3 Il patrimonio architettonico costituisce un capitale spirituale, culturale, economico e sociale di valore insostituibile. Ogni generazione interpreta in maniera diversa ed in relazione ad idee nuove il passato. Qualsiasi riduzione di questo capitale costituisce tanto più una diminuzione di valori accumulati in quanto non può essere compensata neanche da creazioni di elevata qualità. Inoltre, l'esigenza di risparmiare le risorse s'impone. Lungi dall'essere un lusso per la collettività l'utilizzazione di questo patrimonio è fonte di economie.

4 La struttura degli insiemi di edifici storici favorisce l'equilibrio armonioso delle società. Essi presentano, infatti, degli ambienti adatti allo sviluppo di una larga gamma di attività. In passato essi hanno generalmente consentito ad evitare la segregazione delle classi sociali. Possono di nuovo facilitare una buona distribuzione delle funzioni e l'integrazione più ampia delle popolazioni.

5 Il patrimonio architettonico presenta un valore educativo determinante. Consente di documentare e confrontare il significato delle forme e costituisce una miniera di esempi della loro utilizzazione. L'immagine e il contatto diretto hanno di nuovo importanza decisiva nella formazione dell'uomo. Occorre, dunque, conservare le testimonianze di tutte le epoche e di tutte le esperienze. Queste testimonianze possono sopravvivere soltanto se la necessità della loro tutela è compresa dalla maggior parte della popolazione e, in particolare, dalle giovani generazioni che se ne assumeranno la responsabilità nel futuro.

6 Questo patrimonio è in pericolo. È minacciato dall'ignoranza, dal tempo, da ogni forma di degradazione, dall'abbandono. Un certo tipo di urbanistica ne favorisce la distruzione quando le autorità attribuiscono eccessiva attenzione agli interessi economici e alle esigenze della circolazione. La tecnologia contemporanea male applicata degrada le strutture antiche. 1 restauri abusivi sono nefasti. Infine e soprattutto, la speculazione fondiaria e immobiliare si avvantaggia di tutto e nullifica i migliori piani.

7 La conservazione integrata allontana le minacce. La conservazione integrata è il risultato dell'uso congiunto della tecnica del restauro e della ricerca di funzioni appropriate. L'evoluzione storica ha fatto sì che il cuore degradato delle città antiche e spesso anche i paesi abbandonati siano divenuti delle riserve di alloggi a buon mercato. Il loro restauro deve essere condotto in uno spirito di giustizia sociale e non deve essere accompagnato dall'esodo degli abitanti di condizioni modeste. La conservazione integrata deve costituire perciò uno degli elementi preliminari della pianificazione urbana e territoriale. È opportuno notare che la conservazione integrata non esclude l'architettura contemporanea nei quartieri antichi, ma essa dovrà tener conto dell'ambiente esistente, rispettare le proporzioni, la forma e la disposizione dei volumi così come i materiali tradizionali.

8 La conservazione integrata richiede mezzi giuridici, amministrativi, finanziari e tecnici. Mezzi giuridici: la conservazione integrata deve utilizzare tutte le leggi e i regolamenti esistenti che possono concorrere alla salvaguardia e tutela del patrimonio, qualunque sia la loro origine. Qualora queste disposizioni non consentano di raggiungere gli obiettivi determinati, converrà contemplarli e creare gli strumenti giuridici indispensabili ai livelli appropriati: nazionale, regionale e locale. Mezzi amministrativi: l'attuazione di questa politica esige la organizzazione di strutture amministra-tive adeguate e sufficientemente consistenti. Mezzi finanziari: la manutenzione ed il restauro degli elementi del patrimonio architettonico debbono potersi avvalere di ogni aiuto ed incentivo finanziario, inclusi gli strumenti fiscali. È essenziale che i mezzi finanziari, destinati dai pubblici poteri al restauro dei quartieri antichi, siano almeno di entità uguale a quelli destinati alle nuove costruzioni. Mezzi tecnici: gli architetti, i tecnici di ogni competenza, le imprese specializzate, gli artigiani qualificati capaci di realizzare i restauri sono in numero insufficiente. Occorre sviluppare la formazione e l'impiego di quadri e di manodopera, invitare le industrie edilizie ad adattarsi alle nuove necessità e a favorire lo sviluppo di un artigianato che minaccia di scomparire.

9 La collaborazione di tutti è indispensabile per la riuscita dell'opera di conservazione integrata. Nonostante che il patrimonio architettonico sia proprietà di tutti, ogni sua parte è alla mercé di ciascuno di noi. D'altra parte ogni generazione dispone del patrimonio architettonico soltanto a titolo temporaneo. È responsabile della sua trasmissione alle generazioni future. L'informazione del pubblico deve essere tanto più sviluppata in quanto i cittadini hanno il diritto di partecipare alle decisioni che riguardano il loro ambiente di vita.

10 Il patrimonio architettonico costituisce il bene comune del nostro continente. Tutti i problemi di conservazione sono comuni a tutta l'Europa e debbono essere affrontati in maniera coordinata. È compito del Consiglio d'Europa assicurare la coerenza della politica degli Stati membri e promuovere la loro solidarietà.

Carta di Washington (1987)

Carta internazionale per la salvaguardia delle città storiche

Preambolo e definizioni

Tutte le città del mondo, risultanti sia da uno sviluppo più o meno spontaneo sia da un determinato progetto, sono le espressioni materiali della diversità della società attraverso la storia e sono, per questo, tutte storiche.

La presente Carta concerne più precisamente le città, grandi o piccole, ed i centri o quartieri storici, con il loro ambiente naturale o costruito, che esprimono, oltre alla loro qualità di documento storico, i valori peculiari di civiltà urbane tradizionali. Ora, questi sono minacciati dal degrado, dalla destrutturazione o meglio, distruzione, sotto l'effetto di un modo di urbanizzazione nato nell'era industriale e che concerne oggi, universalmente, tutte le società. Di fronte a questa situazione, spesso drammatica, che provoca perdite irreversibili di carattere culturale e sociale ed anche economico, il Consiglio internazionale dei monumenti e dei siti (ICOMOS) ha ritenuto necessario redigere una "Carta internazionale per la salvaguardia delle città storiche".

Questo nuovo testo, completando la "Carta internazionale sulla conservazione ed il restauro dei monumenti e dei siti" (Venezia, 1964), unisce i principi e gli obiettivi, i metodi e gli strumenti atti a salvaguardare la qualità delle città storiche, a favorire l'armonia della vita individuale e sociale ed a perpetuare l'insieme di beni anche modesti, che costituiscono la memoria dell'umanità.

Come nel testo della Raccomandazione dell'UNESCO "concernente la salvaguardia degli insiemi storici o tradizionali ed il loro ruolo nella vita contemporanea" (Varsavia-Nairobi, 1976) e come anche in altri

Strumenti internazionali si intendono qui per "salvaguardia delle città storiche" le misure necessarie sia alla loro protezione, alla loro conservazione ed al loro restauro che al loro sviluppo coerente e al loro adattamento armonioso alla vita contemporanea.

Principi e obiettivi

1 - La salvaguardia delle città e quartieri storici deve, per essere efficace, far parte integrante di una politica coerente di sviluppo economico e sociale ed essere presa in considerazione nei piani d'assetto del territorio e di urbanistica a tutti i livelli.

2 - I valori da preservare sono il carattere storico della città e l'insieme degli elementi materiali e spirituali che ne esprime l'immagine; in particolare:

a) la forma urbana definita dalla trama viaria e dalla suddivisione delle aree urbane;

b) le relazioni tra i diversi spazi urbani: spazi costruiti, spazi liberi, spazi verdi;

c) la forma e l'aspetto degli edifici (esterno e interno), così come sono definiti dalla loro struttura, volume, stile, scala, materiale, colore e decorazione;

e) le vocazioni diverse della città acquisite nel corso della sua storia.

Ogni attentato a tali valori comprometterebbe l'autenticità della città storica.

3 - La partecipazione ed il coinvolgimento degli abitanti di tutta la città sono indispensabili al successo della salvaguardia. Essi devono, dunque, essere ricercati in ogni circostanza e favoriti dalla necessaria presa di coscienza di tutte le generazioni. Non bisogna mai dimenticare che la salvaguardia delle città e dei quartieri storici concerne in primo luogo i loro abitanti.

4 - Gli interventi su un quartiere o una città storica devono essere condotti con prudenza, metodo e rigore, evitando ogni dogmatismo ma tenendo in considerazione i problemi specifici e ciascun case particolare.

Metodi e strumenti

5 - La pianificazione della salvaguardia delle città e dei quartieri storici deve essere preceduta da studi pluridisciplinari. Il piano di salvaguardia deve comprendere un'analisi dei dati, specialmente archeologici, storici, architettonici, tecnici, sociologici ed economici e j definire i

principali orientamenti e le modalità di azione da intraprendere a livello giuridico, amministrativo e finanziario. Esso dovrà tendere a definire un'articolazione armoniosa dei quartieri storici nell'insieme della città.

Il piano di salvaguardia deve individuare gli edifici o i gruppi di edifici da proteggere particolarmente, da conservare in determinate condizioni e da demolire, in circostanze eccezionali. Lo stato dei luoghi prima di ciascun intervento sarà rigorosamente documentato. Il piano deve ricevere l'adesione degli abitanti. In attesa dell'adozione di un piano di salvaguardia, le azioni necessarie alla conservazione devono essere prese nel rispetto dei principi e metodi della presente Carta e della Carta di Venezia.

7 - La conservazione delle città e dei quartieri storici implica una manutenzione permanente del costruito.

8 - Le funzioni nuove e le reti di infrastrutture richieste dalla città contemporanea devono essere adattate alle specificità delle città storiche.

9 - Il miglioramento dell'habitat deve costituire uno degli obiettivi fondamentali della salvaguardia.

10 - Nel caso in cui si rendesse necessario effettuare trasformazioni di immobili o costruirne di nuovi, ciascuna aggiunta dovrà rispettare l'organizzazione spaziale esistente, specialmente la suddivisione delle aree urbane e la sua scala, così come impongono la qualità e il valore d'insieme delle costruzioni esistenti. L'introduzione di elementi di carattere contemporaneo, a condizione di non nuocere all'armonia dell'insieme, può contribuire al suo arricchimento.

- E importante concorrere ad una migliore conoscenza del passa-0 delle città storiche favorendo le ricerche di archeologia urbana e la Presentazione appropriata dei ritrovamenti, senza nuocere all'organizzazione generale, del tessuto urbano.

La circolazione dei veicoli deve essere strettamente regolamentata all'interno dei quartieri storici; le aree di parcheggio dovranno essere ordinate in modo da non degradare il loro aspetto ne quello del loro ambiente.

13. Le grandi reti autostradali, previste nel quadro dell'assetto del territorio, non devono penetrare nelle città storiche, ma solamente facilitare il traffico di approccio a queste città e permetterne un accesso facile.

14 - Misure preventive contro catastrofi naturali e contro tutti i disastri (specialmente l'inquinamento e le vibrazioni) devono essere prese a favore delle città storiche, per assicurare sia la salvaguardia del loro patrimonio che la sicurezza ed il benessere dei loro abitanti. I mezzi messi in opera per prevenire o riparare gli effetti di tutte le calamità devono essere adattati al carattere specifico dei beni da salvaguardare.

15 - Al fine di assicurare la partecipazione e il coinvolgimento degli abitanti deve essere attuata un'informazione generale che inizia dall'età scolare. Deve essere favorita, l'azione delle associazioni di salvaguardia e infine devono essere prese misure finanziarie atte a facilitare la conservazione ed il restauro del costruito.

16 - La salvaguardia esige che sia organizzata in formazione specializzata per tutte le professioni attinenti.

Carta di Cracovia (2000)

Ringraziando le persone e le istituzioni che, durante tre anni, hanno partecipato alla preparazione della Conferenza Internazionale sulla Conservazione “Cracovia 2000” e della sua Sessione plenaria finale “Cultural Heritage as the Foundation of the Development of Civilisation”, noi, partecipanti alla Conferenza Internazionale sulla Conservazione “Cracovia 2000”, consapevoli dei profondi significati connessi al patrimonio culturale, sottoponiamo i seguenti principi ai responsabili del patrimonio, affinché possano essere di guida nell'impegno verso la sua tutela.

Preambolo

Agendo nello spirito della Carta di Venezia, tenendo presenti le raccomandazioni internazionali e sollecitati dalle sfide derivanti dal processo di unificazione europea alle soglie del nuovo millennio, siamo consapevoli di vivere in un periodo in cui le identità, pur in un contesto generale sempre più allargato, si caratterizzano e diventano sempre più distinte. L'Europa del momento è caratterizzata dalla diversità culturale e quindi dalla pluralità dei valori fondamentali in relazione al patrimonio mobile, immobile ed intellettuale, dai diversi significati ad esso associati e conseguentemente anche da conflitti di interesse. Questo impone a tutti i responsabili della salvaguardia del patrimonio culturale il compito di essere sempre più sensibili ai problemi ed alle scelte che essi devono affrontare nel perseguire i propri obiettivi.

Ciascuna comunità, attraverso la propria memoria collettiva e la consapevolezza del proprio passato, è responsabile della identificazione e della gestione del proprio patrimonio. Questo non si può definire in modo fisso. Può essere definito solo il modo con cui il patrimonio può essere individuato. La pluralità nella società comporta anche una grande diversità del concetto di patrimonio come concepito dall'intera comunità. I monumenti, come singoli elementi del patrimonio, sono portatori di valori che possono cambiare nel tempo. Questa variabilità dei valori individuabili nei monumenti costituisce, "di volta in volta", la specificità del patrimonio nei vari momenti della nostra storia. Attraverso questo processo di cambiamento, ogni comunità sviluppa la consapevolezza e la coscienza della necessità di tutelare i singoli elementi del costruito come portatori dei valori del proprio patrimonio comune.

Gli strumenti ed i metodi sviluppati per giungere ad una corretta salvaguardia devono essere adeguati alle diverse situazioni, soggette ad un continuo processo di cambiamento. Il particolare contesto di selezione di questi valori necessita della predisposizione di un piano di conservazione e di una serie di decisioni. Queste devono essere codificate in un progetto di restauro redatto in base ad appropriati criteri tecnici e strutturali.

Consci del profondo valore della Carta di Venezia, e perseguendo gli stessi obiettivi, proponiamo i seguenti principi per la conservazione e restauro nel nostro tempo del patrimonio costruito.

Scopi e metodi

1. Il patrimonio architettonico, urbano e paesaggistico, così come i singoli manufatti di questo, è il risultato di una identificazione associata ai diversi momenti storici ed ai vari contesti socio-culturali. La conservazione di questo patrimonio è il nostro scopo.

La conservazione può essere attuata attraverso differenti modalità di intervento come il controllo ambientale, la manutenzione, la riparazione, il restauro, il rinnovamento e la ristrutturazione. Ogni intervento implica decisioni, selezioni e responsabilità in relazione al patrimonio nella sua totalità, anche per quelle parti che attualmente non hanno un particolare significato, ma che potrebbero assumerne uno in futuro.

2. La manutenzione e riparazione sono una parte fondamentale del processo di conservazione del patrimonio. Queste operazioni devono essere organizzate tramite la ricerca sistematica, le ispezioni, il controllo, il monitoraggio e le prove. Il possibile degrado deve essere previsto e descritto nonché sottoposto ad appropriate misure di prevenzione.

3. La conservazione del patrimonio costruito si attua attraverso il progetto di restauro, che comprende le strategie per la sua conservazione nel tempo. Questo progetto di restauro deve essere basato su una serie di appropriate scelte tecniche e preparato all'interno di un processo

conoscitivo che implichi la raccolta di informazioni e l'approfondita conoscenza dell'edificio o del sito.

Questo processo comprende le indagini strutturali, le analisi grafiche e dimensionali e la identificazione del significato storico, artistico e socio-culturale; Il progetto necessita del coinvolgimento di tutte le discipline pertinenti, ed è coordinato da una persona qualificata ed esperta nel campo della conservazione e restauro.

4. La ricostruzione di intere parti "in stile" deve essere evitata. Le ricostruzioni di parti limitate aventi un importanza architettonica possono essere accettate a condizione che siano basate su una precisa ed indiscutibile documentazione. Se necessario per un corretto utilizzo dell'edificio, il completamento di parti più estese con rilevanza spaziale o funzionale dovrà essere realizzato con un linguaggio conforme all'architettura contemporanea.

La ricostruzione di un intero edificio, distrutto per cause belliche o naturali, è ammissibile solo in presenza di eccezionali motivazioni di ordine sociale o culturale, attinenti l'identità di una intera collettività.

Differenti tipi di patrimonio costruito

5. A causa della particolare vulnerabilità del patrimonio archeologico, ogni intervento riguardante lo stesso deve essere strettamente relazionato al suo contesto, al territorio ed al paesaggio. La caratteristica distruttiva degli scavi deve essere limitata il più possibile. I manufatti archeologici devono essere compiutamente documentati ad ogni scavo.

Come per gli altri casi, l'intervento di conservazione dei ritrovamenti archeologici deve seguire il principio del minimo intervento, e deve essere eseguito da specialisti con tecniche e metodologie strettamente controllate.

6. L'obiettivo della conservazione dei monumenti e degli edifici storici, in un contesto urbano o rurale, è il mantenimento della loro autenticità ed integrità anche nei loro spazi interni, negli arredamenti o nelle decorazioni, nelle finiture ed in ogni connotazione architettonica e documentale.Tale conservazione richiede un appropriato "progetto di restauro" che definisce i metodi e gli obiettivi. In molti casi, questo presuppone un uso appropriato compatibile con gli spazi ed i significati architettonici esistenti. Gli interventi sugli edifici storici devono prestare particolare attenzione a tutti i periodi del passato testimoniati in essi.

7. Le decorazioni architettoniche, le sculture ed i manufatti artistici strettamente connessi con il patrimonio costruito devono essere conservati attraverso uno specifico progetto connesso con quello generale. Questo presuppone che il restauratore possieda la competenza e la formazione appropriata oltre alla capacità culturale, tecnica ed operativa, che gli permetta l'interpretazione dei risultati delle indagini relative agli specifici campi artistici. Il progetto di restauro deve garantire un corretto approccio alla conservazione dell'intero assetto, delle decorazioni e delle sculture, nel rispetto delle tecniche artigianali tradizionali e della loro necessaria integrazione come parte sostanziale del patrimonio costruito.

8. Le città ed i villaggi storici, nel loro contesto territoriale, rappresentano una parte essenziale del nostro patrimonio universale, e devono essere visti nell'insieme di strutture, spazi e attività umane, normalmente in un processo di continua evoluzione e cambiamento. Questo coinvolge tutti i settori della popolazione, e richiede un processo di pianificazione integrata all'interno del quale si colloca una grande varietà di interventi. La conservazione nel contesto urbano ha per oggetto insiemi di edifici e spazi scoperti che costituiscono parti di aree urbane più vaste, o di interi piccoli nuclei insediativi urbani o rurali, comprensivi dei valori intangibili. In questo contesto, l'intervento consiste nel riferirsi sempre alla città nel suo insieme morfologico, funzionale e strutturale, come parte del suo territorio, del suo contesto e del paesaggio circostante. Gli edifici nelle aree storiche possono anche non avere un elevato valore architettonico in sé stessi, ma devono essere salvaguardati per la loro unità organica, per le loro connotazioni dimensionali, costruttive, spaziali, decorative e cromatiche che li caratterizzano come parti connettive, insostituibili nell'unità organica costituita dalla città.

Il progetto di restauro delle città e dei villaggi storici deve prevedere la gestione delle trasformazioni e una verifica di sostenibilità delle scelte, considerando gli aspetti patrimoniali insieme con gli aspetti sociali ed economici. In tal senso risulta ad esso preliminare lo studio dei corretti metodi per la conoscenza delle forze di cambiamento e degli strumenti di gestione del processo oltre che la conoscenza dei manufatti. Il progetto di restauro delle aree storiche

assume gli edifici del tessuto connettivo nella loro duplice funzione: a) di elementi che definiscono gli spazi della città nell'insieme della loro forma, e b) di sistemi distributivi di spazi interni strettamente consustanziali all'edificio stesso.

9. Il paesaggio inteso come patrimonio culturale risulta dalla prolungata interazione nelle diverse società tra l'uomo, la natura e l'ambienta fisico. Esso testimonia del rapporto evolutivo della società e degli individui con il loro ambiente. La sua conservazione, preservazione e sviluppo fa riferimento alle caratteristiche umane e naturali, integrando valori materiali ed intangibili. E' importante comprendere e rispettare le caratteristiche del paesaggio ed applicare leggi e norme appropriate per armonizzare le funzioni territoriali attinenti con i valori essenziali. In molte società, il paesaggio è storicamente correlato ai territori urbani.

L'integrazione tra la conservazione del paesaggio culturale, lo sviluppo sostenibile nelle regioni e località contraddistinte da attività agricole e le caratteristiche naturali, richiede la comprensione e la consapevolezza delle relazioni nel tempo. Ciò comporta la formazione di legami con l'ambiente costruito delle metropoli e delle città.

La conservazione integrata del paesaggio archeologico e fossile e lo sviluppo di un paesaggio altamente dinamico, coinvolge valori sociali, culturali ed estetici.

10. Il ruolo delle tecniche nell'ambito della conservazione e del restauro è strettamente legato alla ricerca scientifica interdisciplinare sugli specifici materiali e sulle specifiche tecnologie utilizzate nella costruzione, riparazione e restauro del patrimonio costruito. L'intervento scelto deve rispettare la funzione originale ed assicurare la compatibilità con i materiali, le strutture ed i valori architettonici esistenti. I nuovi materiali e le nuove tecnologie devono essere rigorosamente sperimentati, comparati e adeguati alle reali necessità conservative. Quando l'applicazione in situ di nuove tecniche assume particolare rilevanza per la conservazione della fabbrica originale, è necessario prevedere un continuo monitoraggio dei risultati ottenuti, prendendo in considerazione il loro comportamento nel tempo e la possibilità della eventuale reversibilità.

Dovrà essere stimolata la conoscenza dei materiali e delle tecniche tradizionali e per la loro conservazione nel contesto della moderna società, essendo di per se stesse una componente importante del patrimonio.

Gestione

11. La gestione del processo di cambiamento, trasformazione e sviluppo delle città storiche, così come del patrimonio culturale in generale, consiste nel costante controllo delle dinamiche del cambiamento stesso, delle scelte appropriate e dei risultati. Deve essere inoltre data particolare attenzione all'ottimizzazione dei costi di esercizio. Come parte essenziale del processo di conservazione, vanno identificati i rischi ai quali il patrimonio può essere soggetto anche in casi eccezionali, e devono essere previsti gli opportuni sistemi di prevenzione e i piani di intervento e di emergenza. Il turismo culturale, oltre che per il suo positivo influsso sull'economia locale, deve essere considerato anche come un fattore di rischio.

La conservazione del patrimonio culturale deve essere parte integrante della pianificazione e del processo di gestione di una comunità, e deve quindi contribuire allo sviluppo sostenibile, qualitativo, economico e sociale della comunità.

12. La pluralità di valori del patrimonio e la diversità degli interessi, necessita di una struttura di comunicazione che assicuri la reale partecipazione degli abitanti a tale processo oltre a quella degli specialisti e degli amministratori. E' responsabilità della comunità lo stabilire appropriati metodi e strutture per assicurare la reale partecipazione degli individui e delle istituzioni a tale processo decisionale.

Formazione ed educazione

13. La formazione e l'educazione nella conservazione del patrimonio costruito necessita di un processo di coinvolgimento sociale e deve essere integrata nei sistemi nazionali di educazione a tutti i livelli. La complessità del progetto di restauro o di ogni altro intervento di conservazione che coinvolge aspetti storici, tecnici, culturali ed economici, presuppone la nomina di un responsabile di adeguata formazione.

La formazione dei conservatori deve essere di tipo interdisciplinare e prevedere accurati studi di storia dell'architettura, di teoria e tecniche di conservazione. Essa deve assicurare l'appropriata preparazione necessaria a risolvere problemi di ricerca necessari per realizzare gli interventi di conservazione e restauro in modo professionale e responsabile.

I professionisti e i tecnici nelle discipline della conservazione devono conoscere le metodologie adeguate, le tecniche opportune oltre che acquisire il dibattito corrente sulle teorie e sulle politiche conservative.

La qualità della manodopera specializzata tecnicamente ed artisticamente per la realizzazione del progetto di restauro deve anche essere accresciuta attraverso una migliore preparazione degli operatori nel campo dei mestieri professionali.

Misure legali

14. La protezione e la conservazione del patrimonio costruito può essere meglio realizzata se vengono prese opportune misure legali ed amministrative. Ciò può essere raggiunto assicurando che il lavoro di conservazione sia affidato, o posto sotto la supervisione, di professionisti della conservazione.

Le norme legali possono anche prevedere periodi di esperienza pratica all'interno di programmi strutturati. Particolare considerazione deve essere data ai conservatori neo-formati che stiano per ottenere il permesso per lo svolgimento della libera professione, anche attraverso la supervisione di un professionista della conservazione.

Allegati - definizioni

Il comitato di redazione della "Carta di Cracovia" ha usato i seguenti concetti fondamentali nel modo come qui sotto espresso.

a. Patrimonio: Il patrimonio culturale è quel complesso di opere dell'uomo nelle quali una comunità riconosce suoi particolari e specifici valori e nei quali si identifica. L'identificazione e la definizione delle opere come patrimonio è quindi un processo di scelta di valori.

b. Monumento: Il monumento è una singola opera del patrimonio culturale riconosciuto come un portatore di valori e costituente un supporto della memoria. Questa riconosce in esso rilevanti aspetti attinenti il fare ed il pensare dell'uomo, rintracciabili nel corso della storia ed ancora acquisibili a noi.

c. Per Autenticità di un monumento si intende la somma dei suoi caratteri sostanziali, storicamente accertati, dall'impianto originario fino alla situazione attuale, come esito delle varie trasformazioni succedutesi nel corso del tempo.

d. Per Identità si intende il comune riferimento di valori presenti, generati nel contesto di una comunità e di valori passati reperiti nella autenticità del monumento.

e. Conservazione: La Conservazione è l'insieme delle attitudini della collettività volte a far durare nel tempo il patrimonio ed i suoi monumenti. Essa si esplica in relazione ai significati che assume la singola opera, con i valori ad essa collegati.

f. Restauro: Il restauro è l'intervento diretto sul singolo manufatto del patrimonio, tendente alla conservazione della sua autenticità ed alla acquisizione di esso da parte delle collettività .

g. Progetto di restauro: Il progetto, come consequenzialità di scelte conservative, è lo specifico procedimento con il quale si attua la conservazione del patrimonio costruito e del paesaggio.

Redazione a cura di:

Comitato di redazione - Andrzej Kadluczka, Giuseppe Cristinelli, Mihály Zádor;

Comitato dei chairman - Giuseppe Cristinelli, Sherban Cantacuzino, Javier Rivera Blanco, Jacek Purchla, J. Louis Luxen, Tatiana Kirova, Zbigniew Kobylinski, Andrzej Kadluczka, André De Naeyer, Tamas Fejerdy, Salvador Perrez Arroyo, Andrzej Michalowski, Robert de Jong, Mihály Zádor, Manfred Wehdorn, Ireneusz Pluska, Jan Schubert, Mario Docci, Herb Stovel e di Jukka Jokiletho, Ingval Maxwell, Alessandra Melucco.

Carta ICOMOS (2003)

CARTA ICOMOS – PRINCIPI PER L'ANALISI, LA CONSERVAZIONE E IL RESTAURO STRUTTURALE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO (2003)

Ratificato dalla XIV[a] Assemblea Generale dell'ICOMOS a Victoria Falls – Zimbabwe, Ottobre 2003.

PRINCIPI

SCOPO DEL DOCUMENTO

Spesso i codici moderni e le normative sulle costruzioni attuali sono tali da non essere applicabili al patrimonio architettonico esistente il quale, per la sua natura e per la sua storia, risulta essere più complesso e ricco di implicazioni di cui non si può non tenere conto.

Raccomandazioni specifiche, dunque, non solo sono auspicabili, ma si rendono necessarie per stabilire i procedimenti secondo cui condurre le analisi, prendere le decisioni ed effettuare le scelte in un quadro di coerenza scientifica e culturale; esse si propongono di rappresentare una guida utile per chiunque si occupi dei problemi della conservazione e del restauro, ma è evidente come esse non possano sostituire la conoscenza acquisibile da testi storici, scientifici e tecnici.

Le Raccomandazioni presentate in questo documento sono suddivise in due parti: i Principi, ove vengono presentati i concetti base della conservazione e del restauro e le Linee guida, ove vengono esposte le procedure e le metodologie da seguire negli studi preliminari e nella progettazione.

Le Linee Guida sono disponibili in inglese in un documento separato: *http://iscarsah.icomos.org/content/principles/ISCARSAH_Principles_English.pdf*

PRINCIPI

1 ASPETTI GENERALI

1.1

La conservazione ed il restauro del Patrimonio Architettonico richiedono un approccio multidisciplinare

1.2

Il valore e l'autenticità del Patrimonio architettonico non possono valutarsi in base a criteri universali, perché il rispetto delle diverse culture richiede che il Patrimonio appartenente a ciascuna di esse sia considerato nel proprio contesto culturale

1.3

Il valore di ogni costruzione storica risiede non solo nella sua apparenza, ma anche nell'insieme di tutte le sue componenti, come prodotto unitario della cultura tecnologica specifica di ogni luogo ed epoca di costruzione. In particolare la rimozione o lo stravolgimento delle strutture interne con la conservazione delle sole facciate non rispetta i principi generali della cultura del restauro.

1.4

Eventuali cambiamenti di destinazione d'uso devono confrontarsi con le istanze della conservazione e della sicurezza.

1.5

Gli interventi sulle strutture del Patrimonio Architettonico devono sempre valutarsi nel quadro generale della conservazione e restauro della costruzione nell' insieme di tutti i suoi valori.

1.6

La peculiarità delle strutture del Patrimonio Architettonico, con la loro complessa storia, richiede l'organizzazione di studi ed analisi secondo tappe precise che sono analoghe a quelle seguite in medicina: anamnesi, diagnosi, terapia e controlli corrispondono infatti rispettivamente, alla

ricerca dei dati e delle informazioni, all'individuazione delle cause del dissesto e del degrado, alla scelta degli interventi ed infine al controllo, anche protratto nel tempo, dell'efficacia dei risultati. Nell'intento di incrementarne l'efficienza e l'efficacia può essere opportuno che la successione delle fasi segua un processo iterativo.

1.7

Nessun intervento deve essere intrapreso senza aver preventivamente accertato i benefici che possono con esso conseguirsi, il suo impatto sulla costruzione storica e gli eventuali effetti collaterali, anche a lungo termine. In situazioni di emergenza si può derogare da queste condizioni, scegliendo comunque soluzioni che producano minime alterazioni permanenti.

2 INDAGINI E DIAGNOSTICA

2.1

È opportuno che l'impostazione di un progetto, fin dalle prime attività (come la visita del sito e la preparazione del programma di indagini), sia effettuata da un gruppo multidisciplinare, scelto in relazione al tipo ed alla complessità dei problemi.

2.2

In genere, occorre in primo luogo analizzare i dati e le in formazioni facilmente disponibili e, solo in un tempo successivo, preparare un più completo piano di indagini, quando si siano meglio compresi gli effettivi problemi della struttura.

2.3

Una completa comprensione dei comportamenti strutturali e delle caratteristiche dei materiali è essenziale per ogni progetto di conservazione e di restauro. Questa conoscenza deve riferirsi alla struttura nelle sue condizioni originarie, alle tecniche costruttive dell'epoca, alle alterazioni subite, ai fenomeni che si sono di volta in volta susseguiti ed, infine, all'opera nello stato attuale.

2.4

Problemi particolari possono porsi durante gli scavi archeologici quando le strutture emergenti devono essere via via stabilizzate senza averne ancora una conoscenza sufficiente. I problemi di conservazione di una costruzione emergente da uno scavo possono essere assai diversi da quelli di una struttura che è stata sempre esposta all'atmosfera. Gli eventuali interventi urgenti durante gli scavi devono comunque rispettare e la concezione tecnologica e strutturale originaria.

2.5

La diagnostica è basata su approcci di carattere storico, qualitativo e quantitativo: gli aspetti qualitativi sono basati essenzialmente sulla osservazione diretta dei dissesti strutturali e del degrado dei materiali nonché sulle ricerche storiche ed archeologiche; mentre gli aspetti quantitativi sono basati essenzialmente sulle misure dirette, sulle indagini sui materiali e le strutture, sul monitoraggio nonché sulle analisi strutturali esperite mediante procedimenti più o meno sofisticati di calcolo.

2.6

Prima di prendere decisioni sugli interventi di carattere strutturale è indispensabile determinare con esattezza le cause dei dissesti e del degrado e quindi valutare i livelli di sicurezza attuali.

2.7

La valutazione della sicurezza, che segue la fase della diagnostica, è il momento in cui si prendono le decisioni sugli eventuali interventi ed è basata su analisi quantitative e qualitative: l'osservazione dell'opera, la ricerca storica, l'analisi strutturale e, quando necessario, prove ed indagini.

2.8

L'applicazione degli stessi criteri di sicurezza richiesti per le costruzioni nuove può spesso portare ad interventi eccessivi, se non sulle costruzioni storiche. In questi casi, analisi specifiche e valutazioni appropriate possono giustificare approcci diversi nel valutare la sicurezza. In particolare, sulla base di valutazioni quantitative e qualitative, si può accettare di incrementare il

livello di sicurezza secondo il principio del miglioramento, senza dover rispettare in tutto le verifiche analitiche previste per le nuove costruzioni.

2.9

Tutti gli aspetti connessi all'acquisizione dei dati, alla diagnostica, alla valutazione della sicurezza ed ai motivi per cui si è deciso di intervenire e con quali modalità devono essere riportati in un Rapporto Esplicativo.

3 INTERVENTI E CONTROLLI

3.1

Gli interventi devono agire sulle cause piuttosto che sugli effetti.

3.2

La manutenzione può spesso evitare l'insorgere dei dissesti e dei fenomeni di degrado minimizzando, e differendo nel tempo, gli interventi più pesanti.

3.3

La valutazione della sicurezza e una chiara comprensione storico-culturale della struttura devono essere alla base delle scelte .

3.4

Nessun intervento deve essere effettuato senza aver dimostrato la sua indispensabilità.

3.5

Ciascun intervento deve essere calibrato sugli obiettivi di sicurezza, contenendo quindi gli interventi al minimo necessario per assicurare sicurezza e durabilità con il minimo impatto sul valore storico del bene.

3.6

Il progetto degli interventi deve essere basato su una chiara comprensione del tipo di azioni (forze, deformazioni, accelerazioni, ecc.) che hanno agito nel passato causando degrado e dissesti nonché su ragionevoli previsioni di quelle che potranno verificarsi in futuro.

3.7

La scelta tra tecniche d'intervento "tradizionali" e "innovative" deve essere valutata caso per caso, dando la preferenza a quelle meno invasive, più reversibili e maggiormente compatibili con i valori storici, tenendo conto dei requisiti di sicurezza, durabilità accertata, compatibilità fisica e chimica, manutenibilità. Spesso sono proprio le tecnologie tradizionali quelle che meglio rispondono ai requisiti indicati. Le difficoltà nel valutare gli effettivi livelli di sicurezza ed i possibili benefici degli interventi suggeriscono, talvolta, di procedere mediante un processo progettuale che perduri nella fase di esecuzione dei lavori adottando il "criterio della valutazione progressiva dei benefici" cominciando, cioè, con un intervento minimo iniziale e lasciando la possibilità di adottare successivamente, in una o più fasi, soluzioni integrative o correttive.

3.9

Quando possibile, gli interventi devono essere "reversibili" tali, cioè, che possano, eventualmente, essere rimossi e sostituiti senza lasciare tracce, con misure alternative ritenute in futuro più opportune alla luce di nuove conoscenze e quando lo sviluppo della conoscenza e delle tecnologie lo consentirà. Quando non è possibile effettuare interventi completamente reversibili, essi devono lasciare la possibilità di essere "ritrattati" consentendo rinnovamenti e integrazioni.

3.10

Le caratteristiche dei materiali utilizzati nel restauro (ed in particolare i nuovi materiali), nonché la compatibilità con i materiali già in opera, devono essere attentamente valutate anche in relazione ai comportamenti nel tempo (per prevenire, ad esempio, il rischio di reazioni chimiche con effetti negativi). La compatibilità è una condizione necessaria ma non sufficiente per accettare una soluzione, in quanto i relativi benefici devono essere preventivamente dimostrati.

Il controllo deve includere anche le eventuali conseguenze a lungo termine così che possibili effetti collaterali indesiderati possano essere evitati.

3.11

Anche le differenziazioni delle varie parti della struttura, da quelle originali a quelle significative avvenute nel tempo sono da conservare.

3.12

Gli interventi devono, per quanto possibile, rispettare la concezione e le tecniche originarie della struttura, nonché le tracce di situazioni significative stratificatesi nel corso della storia, lasciando comunque evidenza di tali situazioni pregresse in modo che esse possano essere riconosciute nel futuro.

3.13

Gli interventi devono essere il risultato di un progetto generale ed integrato, che dia il giusto peso ai diversi aspetti: architettonici, strutturali, tecnologico-costruttivi, impiantistici, funzionali, ma anche agli aspetti storico-documentali e simbolici.

3.14

La rimozione o l'alterazione dei materiali storici, o di elementi caratterizzanti l'architettura, possono essere consentiti solo quando motivazioni importanti possono giustificarla (come ad esempio l'impossibilità di limitare altrimenti rischi gravi).

3.15

Gli elementi strutturali danneggiati, quando possibile, devono essere riparati piuttosto che sostituiti.

3.16

Le imperfezioni e le alterazioni, quando sono divenute parte della storia, dovrebbero essere conservate, a meno che non compromettano i requisiti di sicurezza.

3.17

Lo smontaggio e riassemblaggio di una parte di una costruzione può essere considerata una soluzione possibile solo quando il tipo di materiale e di struttura consentano tali operazioni e quando la conservazione, attuata secondo altri criteri, produca più pesanti alterazioni.

3.18

Strutture provvisionali di sicurezza, utilizzate durante i lavori, devono manifestare la loro utilità e funzione e non devono danneggiare il patrimonio architettonico.

3.19

Ogni proposta di intervento deve essere accompagnata da un programma di controllo e monitoraggio da attuare, per quanto possibile, durante lo svolgimento dei lavori.

3.20

Non si devono consentire interventi i cui effetti non si possano controllare.

3.21

Controlli e monitoraggi devono essere eseguiti anche prima e dopo dell'intervento per verificarne l'efficacia.

3.22

Tutte le attività di controllo e monitoraggio devono essere documentate e conservate come parte della storia della costruzione.

ALLEGATO 4 IL CATALOGO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Description for Buildings and Palaces

Ordinary or monumental buildings, palaces and castles, isolated or in aggregates.

This category includes diffused and monumental historical buildings. The diffused buildings are ordinary habitations and rural constructions, or buildings for productive and working activities, organized as isolated units or into complex aggregates. The term “palace” (from “palatium”, an area in Rome where the emperors developed their residence) is used for noble habitations of different ages: villas, castles and representative buildings. These buildings were designed for the specific needs requested by human activities and present different organization of the spaces: private rooms; stores, archives and places of worship. Due to this variety of functions, the buildings could be realized with different elements (walls, columns, floors, arches, vaults, etc.) formed by specific technologies (stones, bricks, woods, etc.).

Application suggestions

General considerations

Masonry building represents a box-type structural system composed of vertical structural elements - walls - and horizontal structural elements - floors and roofs. Vertical loads are transferred from the floors, acting as horizontal flexural members, to the bearing walls, and from the bearing walls, acting as vertical compression members, to the foundation system.

It is generally recognized that a satisfactory seismic behaviour is attained only if out-of-plane collapse is prevented and in-plane strength and deformation capacity of walls can be fully exploited.

Box action results in limiting the deformations imposed to masonry during an earthquake and, hence, preventing extensive damages and collapse. Old masonry structures seldom satisfy the conditions of ensuring box action: floors and roof are rarely well connected with the walls, floors and roof do not behave as diaphragms of limited deformability in their plane, the connections between walls is quite often defective, whereas large openings and openings located close to the corners of buildings lead to further weakening of the box action.

The seismic behavior of existing masonry buildings

Damage to masonry buildings can be essentially interpreted on the basis of two fundamental collapse mechanisms.

the “First Damage Mode” is produced by seismic actions perpendicular to the wall (out-of-plane) that cause the overturning of the whole wall panel or of a significant portion of it (figure 1A).

The “Second Mode of Damage” can be checked only when the “first mode” doesn’t occur thanks to metallic connections. This damage is caused, by forces acting in the plane of the wall and is usually marked by inclined cracks associated with shear forces that often result in an “X” pattern, but it seldom reaches the total collapse Figure 1B).

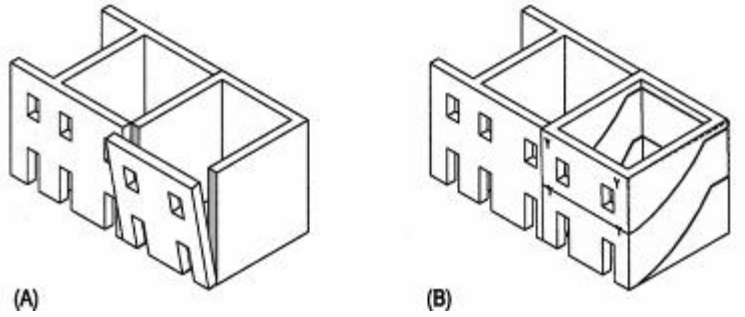


Figure 1 - First mode (a) and second mode (b) collapse mechanisms, (from Sicurezza e conservazione dei centri storici in area sismica, il caso Ortigia.Laterza, Bari, Italy and Carocci C., Guidelines for the safety and preservation of historical centres in seismic area. III International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions - SAHC03, Guimarães, Portugal, 7-9 November, pp. 145-165).

In plane behaviour

In-plane mechanisms induce the typical shear damage, which often is not sufficient to lead to structure collapse. The limited damage is due to the effective strong connection among the structural components and the presence of floors able to transmit the horizontal forces to shear walls, both characterizing the favorable "box" behavior of buildings under seismic actions.

Flexural behaviour: If the applied vertical load is low with respect to compressive strength, the horizontal load produces tensile flexural cracking at the corners (Figure 2a) and the pier begins to behave as a nearly rigid body rotating around the toe (rocking). If no significant flexural cracking occurs, due to a sufficiently high vertical load, the pier is progressively characterized by a widespread damage pattern, with sub-vertical cracks oriented towards the more compressed corners (crushing). In both cases, the ultimate limit state is obtained by failure at the compressed corners, (Figure 2.7c).

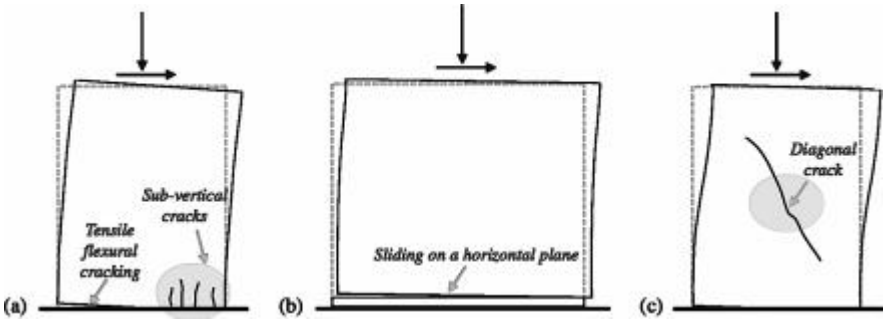


Figure 2 - Typical failure modes of masonry piers due to horizontal loads: (a) rocking; (b) sliding shear failure; and (c) diagonal cracking, (from Calderini C., Cattari S., Lagomarsino S. (2009). In-plane strength of unreinforced masonry piers. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 38, pp. 243-267).

Shear behaviour

(a) in sliding shear failure, the development of flexural cracking at the tense corners reduces the resisting section; failure is attained with sliding on a horizontal bed joint plane, usually located at one of the ends of the pier, (Figure 3a);

(b) in diagonal cracking, when failure is attained with the formation of a diagonal crack, which usually develops at the centre of the pier and then propagates towards the corners, (Figure 2.7c). The crack may pass prevailingly through mortar joints (assuming the shape of a 'stair-stepped' path in the case of a regular masonry pattern, or also through the blocks, (Figure 3b).

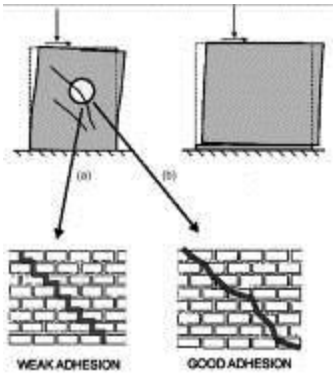


Figure 3 - Influence of the mortar-brick adhesion in the joints (from)

Out of plane behavior

If the structure was not strengthened, it is assumed that the only means of restraint to overturning exerted by other elements to a wall is governed by the friction of the contact surface, and this will give rise to different types of failures (figure 4).

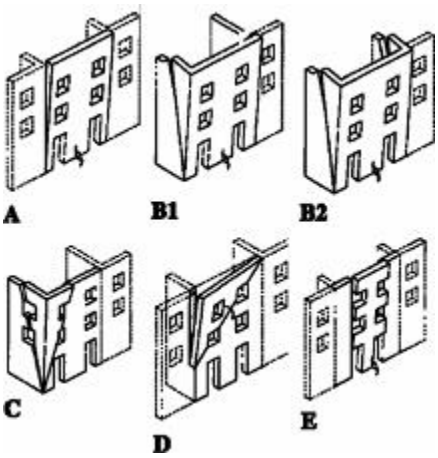


Figure 4 - Mechanisms for overturning failures, (from D'Ayala D., Speranza E., Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings. Earthquake Spectra, No. 19, pp. 479-509).

Failure mechanisms interpretation

The Civil Protection Department and the Ministry of Cultural Properties in Italy have published damage survey templates with detailed drawings illustrating the most important crack pattern after the earthquake in churches, (Figure 5), and palaces. The occurrence of a peculiar mechanism depends on the level and type of connection of the façade to the side walls.

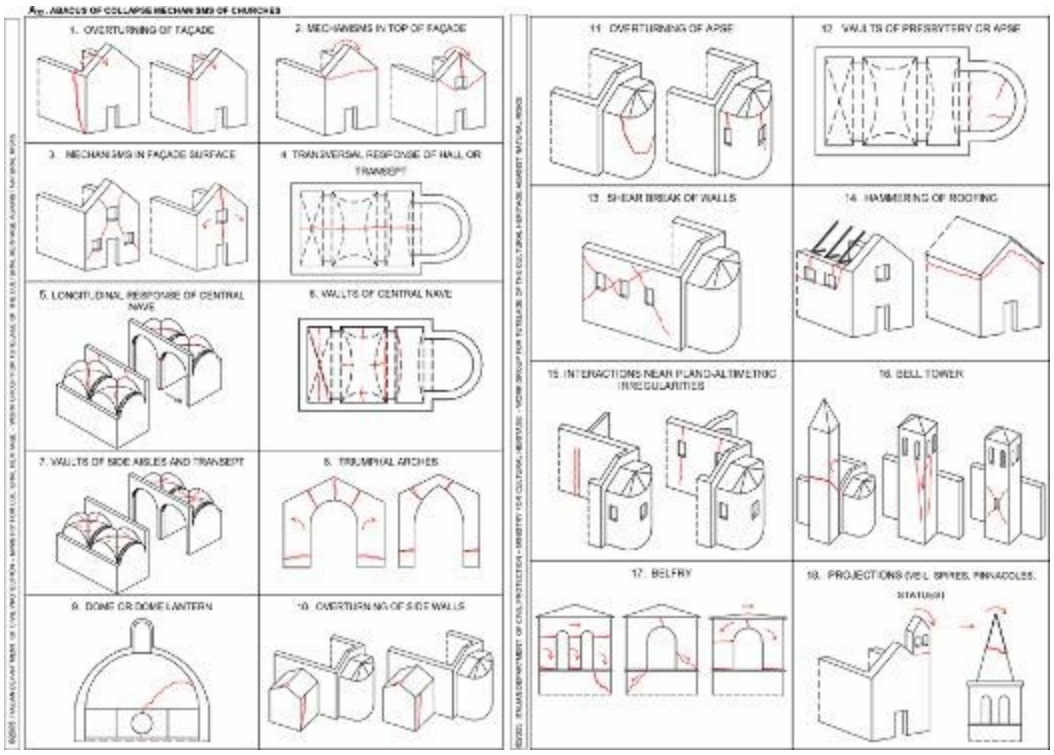


Figure 5 - Survey templates with drawings illustrating the most important crack pattern after earthquakes in churches (from Presidenza del Consiglio dei Ministri (2001). Survey of the church and palace damages. Official Bulletin G.U. No., 116, 21 May 2001, Decree of the 23 February 2006, No. 55, 6 March)

http://www.protezionecivile.it/cms/attach/editor/Beni_Culturali/mod_ADC_eng.pdf

Masonry Typologies

Brick masonry: The wall construction historically is frequently of three solid brick leaves with courses of runners alternated to courses of stretchers, bonding the leaves together. Commonly the thickness of the walls at ground floor is about 450.0 mm reducing to 300.0 mm at the third floor. Another rather common form of construction is also two leaves brickwork with rubble infill.

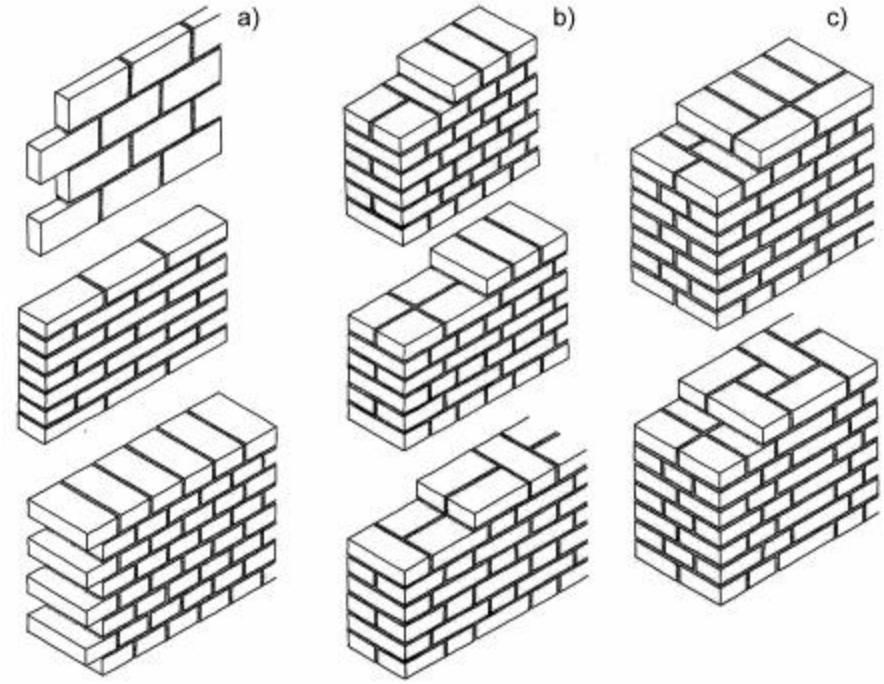


Figure 6 - Examples of regular brick masonry section. (a) Single brick, (b) two headers, (c) one brick and a half

Stone Masonry: The worst defect for a masonry wall is to show no monoliticity in the transversal direction; this can happen for instance when the wall is made by small pebbles or by two external layers even well ordered but not mutually connected or containing a rubble infill. This causes the wall to become more brittle particularly when external forces act in the horizontal direction.

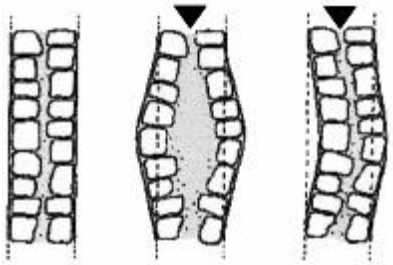


Figure 7 - Deformation and failure of a two leaves wall for vertical loading

Example photos

Ordinary building - Italy

Palazzo Ducale (Urbino - Italy)

Reggia Venaria Reale (Turin - Italy)

S. Stefano di Sessanio (Abruzzo - Italy)

Thun Castel (Trento - Italy)

Description for Religious buildings

Churches, Mosques, Synagogues and other religious buildings

Buildings without intermediate horizontal diaphragms and specific peculiarities like transepts, apses, domes, etc.

This category includes buildings realized for the reunion of believers of the same cult. It includes churches, mosques, synagogues and all the temples used for religious purposes. These buildings present specific peculiarities in the organization of the space like transepts, apses, domes, etc. The absence of intermediate horizontal diaphragms in the vertical development of the interior walls in a common characteristic of the most diffused religious buildings. The monumental effect of the religious buildings is obtained by developing peculiar building technologies: bi-dimensional structures like vertical walls or horizontal floors and three-dimensional elements like vaults, realized by specific technologies (stones, bricks, woods, etc.).

Application suggestions

Religious buildings present different typologies, characterized by the peculiar organization of the space and the connection between various building structures.

The seismic response of churches may be described according to recurrent behaviours, traceable to the damage modes and collapse mechanisms of the different parts, called macroelements, which demonstrate structural behaviour that is almost autonomous. Typical examples of macroelements are the façade, the bell tower, the apse, the transept and the side chapels.

In the damage survey templates published by the Civil Protection Department and the Ministry of Cultural Properties in Italy, (PCM 001 - Presidenza del Consiglio dei Ministri (2001). Survey of the church and palace damages. Official Bulletin G.U. No., 116, 21 May 2001, Decree of the 23 February 2006, No. 55, 6 March),

http://www.protezionecivile.it/cms/attach/editor/Beni_Culturali/mod_ADC_eng.pdf

(Figure 1), for each macroelement, by considering its typology and connection to the rest of the church, it is possible to identify the damage modes and the collapse mechanisms. During the inspection operations, the surveyors must indicate: (a) the actual macroelements; (b) the damage level; and (c) the vulnerability of the church to that mechanism, related to some specific details of construction.

Slender walls, large, heavy architectural elements, such as domes and vaults, and the lack of intermediate horizontal floors create a vulnerability that has caused damage greater than that observed in ordinary buildings, even in low-intensity seismic shaking.

The most frequent damages could be the following:

- cracking and collapsing of vaults (owing to their limited thickness and the lack of tie-rods);
- damage to the pillars due to bending or shear in churches with more than one nave;
- sliding or overturning of the spires over the bell towers; and
- out-of-plane failure of the façade gables or apses. Out-of-plane failures of gable end walls are common in structures with either wood or concrete roofs, where the wall is not well connected to the roof. Typically, the inertial forces corresponding to the weight of the wall itself are thought to ensure failure. In this case, the failure shows the effects of the hammering of the roof on the masonry below.

In single-nave churches, the structural macro-elements made by the arch-pillar system (dividing one bay from others) or the triumphal arch (separating the nave from the presbytery area) are often present: typically, the seismic damage is represented by a four-hinge mechanism. It may

involve both the arch pillars, or only the one subjected to an outward thrust. Sometimes the pillars of the triumphal arch work as shear walls, as they are generally quite wide because of the minor width of the presbytery.

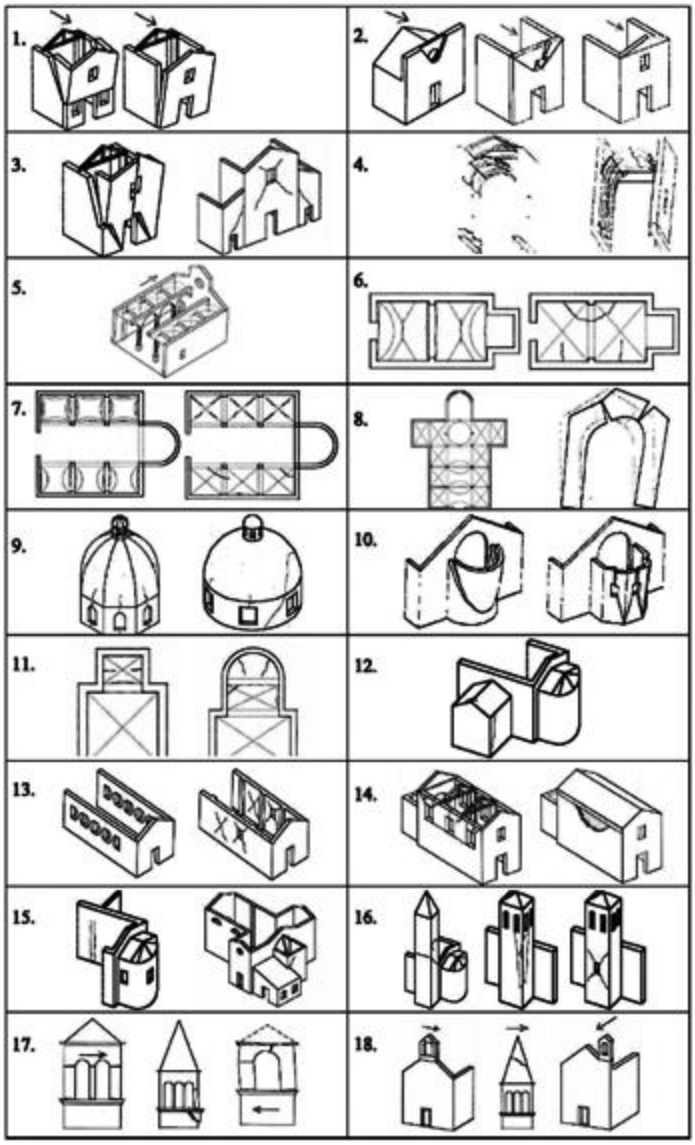


Figure 1. Table of the seismic damage mechanisms in the macroelements of the church, (Lagomarsino S., Podestà S., "Seismic Vulnerability of Ancient Churches: I. Damage Assessment and Emergency Planning". Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 2, 2004, pp. 377-394).

Example photos

Alabaster Citadel (Cairo - Egypt)

Anime Sante Church (l'Aquila - Italy)

Great Synagogue Plzen (Prague - Czech Republic)

Noto Cathedral (Noto - Italy)

S. Agense Church (Rome - Italy)

S. Antonio Basilica (Padova - Italy)

Sinagogue (Florence - Italy)

Sinagogue (Rome - Italy)

Sultan Ahmed Mosque (Istanbul - Turkey)

Description for Towers

Clock towers, bell towers, minarets; constructions with a high height-to-base ratio.

This category includes clock towers, bell towers, minarets and more in general constructions with a high height-to-base ratio. The structure is designed for facing very high stress at the base. Vertical connection systems can be organized into the section of the walls or into the interior of the tower. Horizontal floors can connect the load bearing walls. Each construction element is formed by specific technologies (stones, bricks, woods, etc.).

Application suggestions

Although characterized by different stylistic decorations, age of construction and original function, their comparable geometrical and structural ratios yield to the definition of an autonomous structural type. In a very concise definition, they can be described as monuments where the total height is the prevalent dimension.

In the case of towers, it is very common the interaction with other buildings (e.g. castles, churches, etc.) and the several transformation and changes in use (e.g. the including of water tanks). Another important point in the assessment of the seismic vulnerability and in general in safety evaluation is the urban position (Figure 1). Similar to buildings, the position of the tower with respect to the urban context is very important, as it can strongly influence the possible damage mode under a seismic excitation.

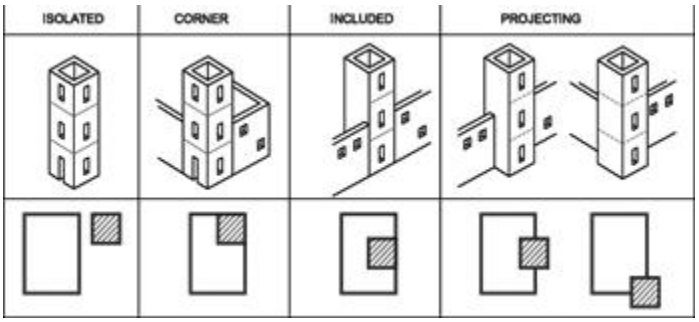


Figure 1. Position of the tower in the urban context, (Sepe V., Speranza E., Viskovic A., "A method for large-scale vulnerability assessment of historic towers". Structural control and health monitoring, Vol. 15, 2008, pp. 389-415).

The load bearing walls of towers have generally massive thickness. Intermediate floors are usually present, dividing the total height in storeys but frequently, being timber floors, can be in bad conditions due to lack of maintenance. The staircase is in frequently in timber, or running within the wall thickness. In defensive towers roofs could be flat and accessible, while in bell-tower are generally thrusting wooden structure and host the bell-fry on top.

Frequently very small openings are present on the perimeter walls.

From mechanisms common to buildings, it is possible to outline the overturning of a wall with lateral side walls and corner failure, the horizontal arch effect and shear failure. Figure 2 summarizes the main structural damages of towers.

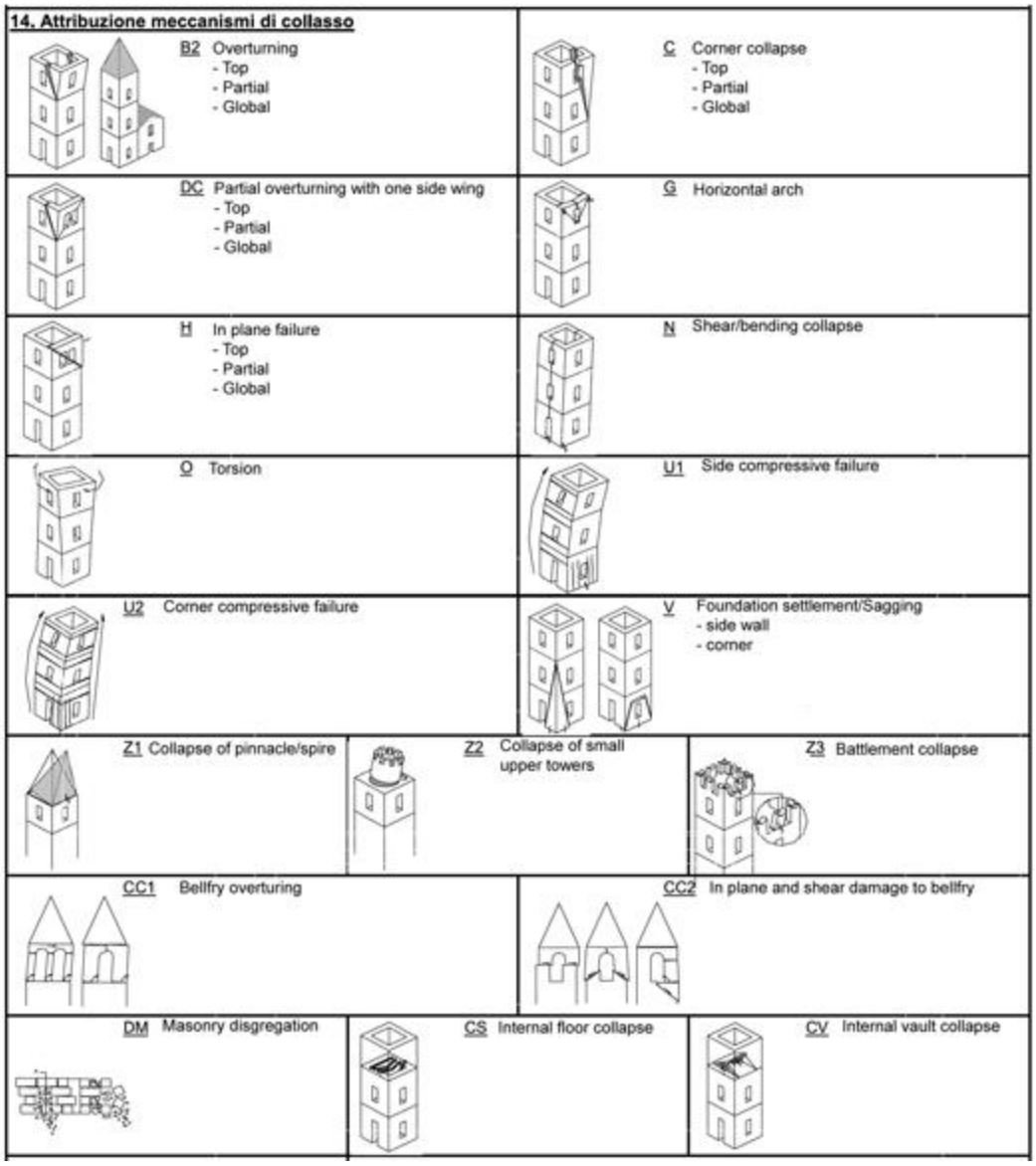


Figure 2. Crack pattern of towers and interpretation of the damage mechanism, (Sepe V., Speranza E., Viskovic A., "A method for large-scale vulnerability assessment of historic towers". Structural control and health monitoring, Vol. 15, 2008, pp. 389-415)

The former is an overturning with a vertical crack in the middle of the body, with development of frictional stresses along it. This damage mode is particularly feasible when a vertical array of openings is present on the wall surface enabling the onset of a vertical crack, so as to reduce the frictional strength. Other mechanisms include failures caused by stresses very near to the compressive strength at the base, and this can occur particularly in the presence of out of plumbs or long term compressive behaviour and might be independent from seismic effects.

Tensional effect can be activated only in the presence of asymmetries in the geometrical and/or mechanical characteristics or due to the presence of adjacent buildings of different height.

Some damages could be partially independent of the seismic effect and is associated with geotechnical/ geological problems but that could be active during the earthquake.

Other failure modes concern the collapse of either additional parts or turrets or decoration standing elements or to the belfry.

Example photos

Clérigos bell tower (Porto - Portugal)

Leaning Tower (Pisa - Italy)

Minaret of the Al Muhdhar mosque (Tarim - Yemen)

Minaret of the Mosque of Uqba (Kairouan - Tunisia)

Description for Free-Standing Elements

Freestanding elements without horizontal diaphragms.

This category takes into account the ruins of ancient buildings. The rests of ancient buildings are usually constituted by parts of vertical walls or columns without horizontal diaphragms. These elements, survived to misuse, are formed by specific technologies (stones, bricks, etc.). Rests of collapsed buildings (portions of walls belonging to palaces, churches, towers, defensive structures, colonnades, etc.), presenting the capability of maintaining their original position and the original mechanical behaviour, represent a piece of the previous existing building. Free standing elements conserve the traces of the past organization (from the spatial to the technological point of view) of the building, with the characteristics of their structures and the information concerning the use of the materials.

Application suggestions

Example photos

Ala of the Verona Arena (Verona - Italy)

Ancient columns (Beit She'an - Israel)

Defensive wall of the Moorish Castle (Sintra - Portugal)

Fori Romani (Rome - Italy)

The Palmyrene Gate, city of Dura Europos (Syria)

ALLEGATO 5 IL CATALOGO DEGLI INTERVENTI

Additional connection elements	
Name:	Additional connection elements
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Anchor bolts for semi-rigid connection	
Name:	Anchor bolts for semi-rigid connection
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	To ensure semi rigid support wall and floor connections and improve their resistance to horizontal forces - The reduction of rigidity; - The increase of the pitch period; - Reducing the effort seismic - The reduction of the seismic energy; - And thus increase the energy dissipated.
Limits / Applicability / Restrictions:	corrosion of metal rods avoid concrete chaining
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	chaining wood along the walls The anchor bolts are reinforcements embedded in the lowest T10 horizontal chaining and both sides of the wall, of length 40cm. These rods are horizontally spaced every 50cm. These frames must be treated against corrosion or embedded in a cement-rich mortar.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	

Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Anchorage, Wall cross-ties	
Name:	Anchorage, Wall cross-ties
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	• Cracks are initiated at anchorage location due to high stresses (De la Osa Adobe, Tolles et al. 1996) • Pull –out of anchors (Pio Pico Adobe and De la Osa Adobe, Tolles 1996) • In general, helped retraining movement of longitudinal walls from transverse walls (Andres Pico Adobe, Tolles et al. 1996)
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Tolles et al. 1996 reports the existence of cut ties which clearly could not function effectively.
Long term performance / Durability:	Durability is affected by the use of steel anchors and plates which can corrode.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. L., Webster, F.A., Crosby, A., Kimbro, E.E. (1996) Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake", The Getty Conservation Institute, 1996. Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. (2000) Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
Notes:	

Anti-Rust treatment	
Name:	Anti-Rust treatment
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Prevention of further rust damage to steel beam by using cuci-scuci method to clean beam, apply anti-rust coat and fill with non-rust mortar.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	Anti-rust treatment
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	

Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Application of FRP composite strips glued to the surface	
Name:	Application of FRP composite strips glued to the surface
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Aim: - increase in shear strength - appropriate reinforcement
Limits / Applicability / Restrictions:	- The damage of the walls depends on the strength of brick just below the glued surface. - The high cost of application - relatively simple reinforcement applications. - possible quality enhancement by carbon fibers. When composite strips are applied, the interface between strip and brick is critical for the load carrying capacity. The difference in strength between brick and polymer matrix is very high, which prevents full use of the advantages of strip strengthening. Because of the high cost of composite strips, this method is not very economical and effective. A better situation may occur when strengthening natural stone masonry, but the low planarity of such masonry again decreases the effectiveness. In both cases, the main disadvantage of surface composite strips lies in their low fire resistance and in the need to protect them in this respect when used on residential or civil buildings. It seems that a pronounced diagonal crack can occur only under a combination of shear and low vertical compression pre-stress, or even partial vertical tension, which is typical for overturning, and a vertical component during earthquake movement. This phenomenon needs further and deeper study.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The test specimens were mounted into a special testing rig that enabled simultaneous uniform compression and cyclic horizontal loading on the top of the tested specimen. Four hydraulic jacks generated the vertical load, which was transmitted to the wall by eight ties and a steel “hat” on the top of the wall. A horizontal displacement (force) on the top of the wall was introduced using a servohydraulic MTS actuator of 250 kN capacity. - The choice of material-based carbon fiber: - Optimization of the location on the specimen - Ensuring the perfect adhesion of both materials
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	The strips increase the load carrying capacity of brick walls and might be effectively used for repair of damaged walls after earthquake. The method is very costly, labour consuming and utilising material of a very high quality non-comparable to the co-operating bricks. Moreover, its fire protection is questionable and lowering practical applications in interior of buildings. The prestressing has a significant influence on the wall behaviour. Under high prestress, the creation of diagonal cracks is suppressed. The shear cracks are occurring under the condition of lowering the prestressing. The main problems associated with the application materials of FRP strips to the masonry structure are as follows: - Lack of knowledge about the quality of amplified structures

	- The possibility of discontinuities in the structure - The presence of voids and gaps in existing structures. - Lack of bonding FRP strips to the masonry structure. Another determining factor is price, which is currently still high compared with other alternatives.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	1. Avramidou, N., Drdácký, M.F., Procházka, P.P. 1999. Strengthening against damage of brick walls by yarn composites, Proceedings of the 6th Int. Conf. On „Inspection, Appraisal, Repairs and Maintenance of Buildings and Structures“, pp. 51-58, Melbourne. 2. Drdácký, M. 1999. Experimentální výzkum zdiva sanovaného kompozitovými pásy, Zpráva ÚTAM AV ČR, 7 str., Praha. 3. Drdácký, M., Lesák, J. 2000. Brick masonry panels strengthened using yarn composites and subjected to cyclic loading (in Czech), Research report ÚTAM AV ČR for the project GA ČR 103/97/S051, 179 p., ÚTAM Praha. 4. Drdácký, M., Lesák, J. 2001. Tests of brick masonry walls strengthened with polymer grids and subjected to combination of compression and cyclic shear, Research report ÚTAM AV ČR - CD, ÚTAM Praha
Notes:	

Artificial headers	
Name:	Artificial headers
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Bolts	
Name:	Bolts
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The intervention consists of applying bolts to timber connections tying together the two elements of the

	connection, namely vertical post and horizontal beam. The aim of this type of strengthening is to: • prevent the out-of-plane opening of the connections observed in the unreinforced walls; • improve the shear behaviour of the wall, guaranteeing a higher dissipative capacity even after failure. Advantages: • Low tech equipment and workmanship are required; • Removable intervention; • Cheap solution; • Avoids opening of connections; • Guarantees a better shear behaviour of the wall; • Dissipative capacity improvement.
Limits / Applicability / Restrictions:	Limits: • Limited additional strength offered to the structure; • Access to both sides of the wall should be granted. Applicability: Generally applicable, unless the timber elements are too degraded, in which case they should be replaced or adequately repaired.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Presence of knots or of pre-existing drying fissures should be taken into account. Bolts should not be placed near knots of fissures, since they create a preferential failure path. If pre-existing drying fissures are significant, adequate measures should be taken, for example repairing them with the use of timber slips or replacing the element.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Poletti E, Vasconcelos G. (2012) Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions, *8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, October 15-17, Wroclaw, Poland, 2012.
Notes:	

Bond-beam (flexible, i.e. timber)	
Name:	Bond-beam (flexible, i.e. timber)
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Creates favourable box behaviour.
Limits / Applicability / Restrictions:	Timber quality and whereby necessary treatment should be assessed in any situation where termite attack is suspected or possible.
Documented seismic performances:	Good (Langenbach 2009).
Application procedures and remarks:	Timber bond beam can be placed above walls or externally (one timber element on inner side, one on outer side).
Improved by the	Effective connection between bond beam and roof and connection between bond beam and walls. Tolles et

simultaneous use of:	al. 2002 recommends the use of 0.4m screws fixed with epoxy resins. Standards New Zealand 1998b recommend the use of rods driven through the timber beam, with 500mm minimum embedment, no grouting necessary. Crocker (2000) advocates the use of polypropylene straps which if properly introduced, unlike dowels which are drilled, do not weaken the underlying earth material.
Possible mistakes in the application:	Size and detailing of timber bond beam should follow guidelines.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	asia Association salvadorena de ingenieros y arquitectos (1997) Norma especial para diseno y construccion de viviendas, Miniterio de Obras Publicas, Republica de El Salvador, San Salvador, May 1997. California Building Standards Commission (2007), 2007 California Historical Building Code, California Code of Regulations Title 24, Part 8 California Building Standards Commission, California Code of Regulations, Title 24, Part 8, Published by International Code Council, Washington, D.C., PRINTED IN THE U.S.A. IS 13827 (1993), Indian Standards, Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings, New Delhi, Bureau of Indian Standards Standards New Zealand (1998a) *NZS 4298: 1998 Materials and Workmanship for Earth Buildings*. Wellington, N.Z.: Standards New Zealand. Standards New Zealand (1998b) NZS 4299: 1998 Earth Buildings Not Requiring Specific Design. Wellington, N.Z.: Standards New Zealand.
Referencess:	Langenbach, R. (2009) Don't Tear It Down! Preserving the Earthquake Resistant Vernacular Architecture of Kashmir, 154 pp.,Oinfroin Media. Sikka, S., and Chaudhry, C. (2006) Upgrade of Traditional Seismic Retrofits for Ancient Buddhist Temples, Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, 2006, pp. 109-119. Tolles, E.L. and Krawinkler, H. (1988) Seismic Testing on Small Scale Models of Adobe Houses, Vol. VIII, Ninth World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo- Kyoto, Japan. 1988.
Notes:	

Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)	
Name:	Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Creating box-type behaviour and evenly distributing roof load.
Limits / Applicability / Restrictions:	The use of concrete can cause an excessive increase in mass. An effective connection is required between bond beam and walls. The use of steel can cause an excessive increase in mass, stiffness, stress concentration (Schröder 2010) The insertion of concrete or steel beams often implies the removal of historic material.
Documented seismic performances:	From acceptable, i.e. heavy damage but no collapse (EEFIT Turkey 1982) to inacceptable (EEFIT Turkey 1982). Walls can fail in shear under heavy concrete beam and heavy roof.
Application procedures and remarks:	An effective connection is required between bond beam and walls. Standards New Zealand (1998b) recommends the use of a bolted and grouted dowel to a minimum depth of 150mm, with bolt above the bond beam. Recommended grout is cementitious, which might be related to the code not being specific for historic materials. This dowel length seems inappropriate to the author for intense earthquakes.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	Any beam which is too cumbersome can result in stress concentrations which are too high for earthen materials to resist.

Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If steel has been used, its corrosion should be monitored.
Long term performance / Durability:	Affected by the use of steel, which can corrode.
Standards and/or Recommendations:	California Building Standards Commission (2007), 2007 California Historical Building Code, California Code of Regulations Title 24, Part 8 California Building Standards Commission, California Code of Regulations, Title 24, Part 8, Published by International Code Council, Washington, D.C., PRINTED IN THE U.S.A. Standards New Zealand 1998a *NZS 4298: 1998 Materials and Workmanship for Earth Buildings*. Wellington, N.Z.: Standards New Zealand. Standards New Zealand 1998b NZS 4299: 1998 Earth Buildings Not Requiring Specific Design. Wellington, N.Z.: Standards New Zealand.
Referencess:	Frumento, S., Giovinazzi, S., Lagomarsino, D., Podesta´, S. (2006), Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Buildings in Italy, Proceedings of the 2006 NZSEE, Napier, New Zealand. Schroeder, H. (2010) "Lehmbau", Vieweg + Teubner, Wiesbaden 2010. Tolles, E. L., Webster, F.A., Crosby, A., Kimbro, E.E. (1996) Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake", The Getty Conservation Institute, 1996.
Notes:	

Buttresses	
Name:	Buttresses
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: • contrast horizontal thrust of arches and vaults; • forbid mechanisms out-of-plane of the masonry. Advantages: • change the boundary conditions, the constraint reaction and then the thrust line; • low tech equipment and workmanship; • fully reversible; • used as a provisionally structures.
Limits / Applicability / Restrictions:	This technique need much space, is unwieldy and expensive (Caleca et al., 1983). The buttress is heavy technique, so it can lead to differential settlement of foundations.
Documented seismic performances:	So far no details have been found in the literature.
Application procedures and remarks:	The buttress can be constructed in different materials (stone, brick, concrete, etc.) lean the abutments (Caleca et al., 1983): a) build new foundation, near the existing masonry; b) clear the existing structure where the new buttress will be leaned; c) build buttress lean the existing vertical element.
Improved by the simultaneous use of:	Metal tie.
Possible mistakes in the application:	The main problems connected to the buttress affect the interface between abutment and buttress.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Check rotation or settlement of buttress.
Long term	If applicable, the technique should have long durability.

performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	No specific standard were developed.
Referencess:	Caleca L., De Vecchi A. (1983). Tecnologie di consolidamento delle strutture murarie. Dario Flaccovio, Palermo. Gurrieri F. (1999). Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici. Regione Umbria, Dei tipografia del genio civile, Roma. Jurina L. (1999). Una tecnica di consolidamento attivo per archi e volte in muratura. Seismic performance of built heritage in small historic centers, Assisi, Italy, April. Ferrario L., Marini A., Riva Paolo, Giuriani E. (2008). Tecniche di rinforzo per strutture voltate in muratura soggette ad azione sismica. Report ReLuis – Progetto di ricerca N.1, Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura, Allegato 3a.2-UR11-12.
Notes:	

Cables and straps	
Name:	Cables and straps
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Column-ties	
Name:	Column-ties
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	By confining masonry walls with vertical elements placed at all corners and wall intersections, as well as along the vertical frame of large openings, the seismic performance of a masonry building is improved as a result of the enhanced integrity of the structural system.
Limits / Applicability / Restrictions:	Such technique is suitable only in case of a structure with horizontal RC tie-beams in the bearing walls at floor level and stiff, monolithic floor diaphragms, otherwise the effect of the vertical confinement is scarce, or null. However, even though the use of RC ring beams is allowed for in design codes, it is recommended that it is avoided as much as possible, and in those cases where other options are not viable, only small, well-connected elements are used. Indeed, RC ring beams normally result too stiff and to heavy in respect to historic materials and tend to shear off and slip off the bearing walls, creating widespread damage and extensive collapses. Overall column-ties are highly invasive and their installation involves the loss of large portions of the original material. Therefore, their use is not recommended.
Documented seismic	The confinement prevents disintegration and improves ductility and energy dissipation of URM buildings, but

performances:	has limited effect on the ultimate load resistance (Chuxian et al. 1997, Zezhen et al. 1984). However, the real confinement effect mainly depends on the relative rigidity between the masonry wall and the surrounding frame and to less extend on material characteristics. Before cracking, the confinement effect can be neglected (Tomaževič and Klemenc 1997, Chuxian et al. 1997, Karantoni and Fardis 1992). It is reported that, for very squat URM walls (geometrical aspect ratio of 0.33 and double fixed boundary conditions), the confinement increases the cracking load by a factor of 1.27, and at ultimate load, the confinement increases the lateral resistance by a factor of 1.2 (Chuxian et al. 1997, Zezhen et al. 1984). For walls with higher aspect ratio, the confinement increased the lateral resistance by a factor of 1.5 (Tomaževič and Klemenc 1997). In addition, the confinement improved the lateral deformations and energy dissipation by more than 50% (Tomaževič and Klemenc 1997).
Application procedures and remarks:	For the construction of the confinement elements, all the bricks in the intervention area are removed; the concrete of the existing tie-beams is also removed to allow for the connection between existing and new reinforcement. Reinforcement vertical bars and stirrups are placed and concrete cast. Tie-columns should be as thick as the wall where they are located, although in many cases of repair of existing buildings they are of reduced dimensions due to on-site constraints. Furthermore, they may sometimes be replaced by sets of reinforcing bars placed in holes drilled in the masonry and connected to the surrounding substratum by stirrups.
Improved by the simultaneous use of:	Concrete ring beams and stiff horizontal structures.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Chuxian S., Guiqiu L., Wenchao W. (1997). The Design of Brick Masonry Structure with Concrete Column. XI Brick and Block Masonry Conference, Shanghai, China. Karantoni F., Fardis M. (1992). Effectiveness of Seismic Strengthening Techniques for Masonry Buildings. ASCE, Vol. 118, No. 7, pp. 1884-1902. Tomaževič M., Klemencl. (1997). Seismic Behaviour of Confined Masonry Walls. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, pp. 1059-1071. Tomaževič M., Klemencl. (1997). Verification of the Seismic Resistance of Confined Masonry Walls. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, pp. 1073-1088. Zezhen N., Qi D., Jianyou C., Runtao Y. (1984). A Study of a Seismic Strengthening for Multi-storyBrickBuilding by Additional R/C Columns. VIII WCEE, USA.
Notes:	

Composite materials	
Name:	Composite materials
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the in-plane stiffness of the floor Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Compatibility • Durability • Reversibility/Removability

	• Fast and easy to perform
Limits / Applicability / Restrictions:	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal intervention. This reinforcement technique does not increase the out-of-plane bending stiffness of the floor. Mechanical behaviour strongly depends on the local bond at the interface between wood and fibres subjected to various types of action (debonding, peeling), and may be particularly sensitive to the environmental conditions of the wood, mainly the relative humidity of the substrate. Italian standards recommend a limit of 10.0% relative humidity to ensure proper adhesion of fibres to porous materials like masonry (CNR-DT200, 2004), and the use of polymer resins able to ensure durability, in cases of mechanical and dimensional variations in timber materials (CNR-DT201, 2005). In wood, relative humidity of the substrate of 12.0% seems to be adequate to allow proper bond behaviour of glued elements (Piazza et al., 2005).
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Despite its simplicity, the described model provides important information on the reinforcement characteristics in order to ensure the required in-plane stiffness of the deck planking. The main features are presented: (Angotti et al., 2005): • The reinforcement can be placed diagonally, with a behaviour similar to that one presented by the metallic braces, using only the tensile strength characteristics. • The composite material must be unidirectional, with adequate axial stiffness sufficiently thin and deformable for out-of-plane actions. Other considerations may arise from practical aspects related to the implementation of the intervention. Some of them are here (Angotti et al., 2005): • The most qualified materials to provide reinforcement are the ones with glass-fiber, for their modest elastic modulus, that allows them to accommodate not only the wood natural movements but also the inevitable movements of the floor, without causing excessive stresses on the bonded interface. • The type of product more adapted to the mechanical characteristics are certainly the ones available in the form of fabrics, pre-impregnated in-situ, available in convenient rolls, from which can be obtained with ease strips of suitable length. With the objective of preventing the instability phenomena of the compressed reinforcements, of yielding more uniform the behaviour of the floor in the two main directions, of protecting the reinforcement intervention and improving the adherence it is important that at the extrados a second deck completes the intervention. The boards of this last one are arranged perpendicular to those of the first deck, to which must be attached using nails or screws. Before the installation of the second deck, the upper surface of FRP reinforcements can be further covered with glue, so as to improve the attachment between reinforcement and floor and between the two decks. When finished, the surface of the extrados reinforced floor will be very similar to that attained in the absence of reinforcement, making possible the common surface treatments.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the application of the FRP strips on the wooden deck.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability
Standards and/or Recommendations:	CNR-DT200 (2004). Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures, materials, RC and PC structures, masonry structures. Italian National Research Council (CNR), 154pp. CNR-DT201 (2005). Studi preliminari fi nalizzati alla redazione di Istruzioni relative a Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante l ' utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Italian National Research Council (CNR), 60pp.
Referencess:	Angotti, F., Ascione, L., Baratta, A., Ceccoli, C., Cosenza, E., Giangreco, E., Jappelli, R., Maceri, F., Mazzolani, F.M., Pinto, P.E., Pozzati, P., Solari, G., Urbano, C., Zanon, P. (2005). Studi Preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante

	l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. CNR, Roma, Italy. Corradi, M., Speranzini, E., Borri, A., Vignoli, A. (2006). In-plane shear reinforcement of wood beam floors with FRP. Composites: Part B, Iss. 37, pp. 310-319. Gentile, C., Svecova, D., Rizkalla, S.H. (2002). Timber beams strengthened with GFRP bars: Development and applications. Journal of Composites for Construction, 6 (1), 11-20.
Notes:	

Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG	
Name:	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Continuous ledger and lag screws	
Name:	Continuous ledger and lag screws
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	This technique relies on the introduction of a timber band (referred to as "ledger" in the publication) running around the exterior side of the wall, through which lag screws anchored into the end of the grain of the joist are inserted. This system aims to restore/improve the connection between earthen walls and floor structures.
Limits / Applicability / Restrictions:	Although the authors (Tolles et al., 1996 and 2002) claim that the joint has sufficient strength to prevent relative movement during earthquakes, despite recommendations being against the bolting into the end grain of a joist, the screw is inserted parallel to the grain, a practice which goes against usual building construction norms. An additional observation is that coach screws longer than 250-300 mm are not necessarily found on the market, and the solution is therefore only viable for relatively thin walls or when the distance between external wall surface and joist extremity amounts to no more than 250mm (if the assumption is taken that 50mm embedment is sufficient).
Documented seismic performances:	This connection is reported by Tolles et al. (1996 and 2002) to have performed effectively at the Andres Pico Adobe during the 1994 Northridge earthquake, despite heavy damage to much of the building.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	

Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. Survey of Damage to Historic Adobe Buildings after the January 1994 Northridge Earthquake. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1996. Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, and William S. Ginell. Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002.
Notes:	

Corner confinement by composite materials	
Name:	Corner confinement by composite materials
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Horizontal stripes of FRPs/GFRPs bonded at various levels along a masonry panel and anchored to the side walls can be used to restore corner connections, thus preventing overturning of the front wall and better structural response to horizontal loading. Optimal application is achieved when the whole perimeter of the structure is confined. The use of composite materials has the following advantages: • Preventing the masonry units from separating from the wall, causing collapse of the wall, loss of lives and damage to the property; • Increasing the flexural out-of-plane and shear in-plane capacity of the walls; • Avoid increase of mass and hence the need for strengthening the foundations; • Simple application and modification of the system (e.g. cutting to accommodate openings, drilling through for the attachment of non-structural items, etc.) with almost no increase of the wall thickness; • No need for drilling holes, which may further weaken the wall.
Limits / Applicability / Restrictions:	The system has a high aesthetic impact as it entails the removal of existing plaster and the application of additional material on the wall surfaces.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	CNR-DT 200/04. Guide for the Design and Construction of Externally Bondend FRP Systems for Strengthening Existing Structures.
Referencess:	
Notes:	

Corner confinement by Geomesh	
Name:	Corner confinement by Geomesh
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	The application of geomesh at the corners of earthen material walls is performed to improve the connection, prevent the separation of walls and out-of-plane failure mechanism and ensure better overall behaviour of the structural system.
Limits / Applicability /	Geometry and Heritage requirements do not always necessarily allow through-wall drilling or the application

Restrictions:	of geotextiles on both sides of a wall. Localised falling out of single building sections can be avoided in these cases by fixing geotextiles with injection dowels. This technique is suitable in the case of static loading, or light wind loading but it is not recommended in the literature as a means to improve building performance under seismic loading. The applicability of this technique is limited by the scarce knowledge regarding the bond strength between the binder of dowel anchors and the parent material, this being adobe, rammed earth or cob.
Documented seismic performances:	The use of Geotextiles is becoming widespread in earthen buildings: the NZS requires it as internal horizontal reinforcement between brick units for new build (NZS 1998), but geotextiles have also been used externally to retrofit earthen buildings (Blondet and Aguilar 2007, Torrealva 2008, Torrealva et al. 2009 and Torrealva 2009)
Application procedures and remarks:	The technique entails removal of existing plaster, drilling of holes in the walls, and fixing of both an internal and an external mesh, tied and held together by means of polyester threads. Walls are then re-plastered. This practice has been proved to be most effective when the geotextiles are not simply used at corners (i.e. corner confinement), but instead when they cover a minimum of 75% of the facade.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Blondet M., Aguilar R. (2007). Seismic Protection of Earthen Buildings. International Symposium on Earthen Structures, Indian Institute of Science, Bangalore, 22-24 September. Torrealva D. (2009). Diseño Sismico de Muros de Adobe Reforzados con Geomallas. Departa-mento de Ingeñieria Civil, Universidad Pontificia del Peru. Torrealva D., Cerrón C., Espinoza, Y. (2005). Shear and Out of Plane Bending Strength of Adobe Walls Externally Reinforced with Polypropylene Grids. XIV World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China Torrealva D., Vargas Neumann J., Blondet M. (2009). Earthquake resistant design criteria and testing of adobe buildings at Pontificia Universidad Catolica del Peru. Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, pp. 109-119.
Notes:	

Corner confinement by Polypropylene (PP) mesh	
Name:	Corner confinement by Polypropylene (PP) mesh
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	As for other typologies of corner confinement, PP mesh confinement aims to improve the unitary behaviour of the structure in case od horizontal loading. The main aadvantage of this techniques is that needed materials are cheap and readily available.
Limits / Applicability / Restrictions:	The technique has a very high aesthetic impact as it requires the removal of the existing plaster and the widespread application of additional material on the wall surfaces. Therefore, it is not applicable whenever the preservation of the original aspect of the building and of the original finishes is pursued.
Documented seismic performances:	Shear tests on walls strengthened by PP mesh (Mayorca and Meguro, 2004; Macabuag et al., 2009) showed that, although the strengthening does not increase the peak strength, it contributes to improving the structural performance after crack occurrence. The strengthened walls exhibit larger post-peak strength, while the mesh helps to spread the diagonal cracks over a wide region. The presence of connectors and mortar is crucial to the performance of the wall. Shaking-table tests on a full scale model of a simple structure (Macabuag et al., 2009) confirmed that the PP meshing significantly enhances the seismic resistance of the structure
Application procedures and remarks:	The retrofitting installation procedure is as follows (Mayorca and Meguro, 2004): 1. The PP-bands are arranged in a mesh and connected at their crossing points. 2. Two steel rods are placed at the edges of the mesh; these bars are used to anchor the mesh at the foundation and at the top edge of the wall. 3. The walls are cleaned and, if possible, the paint is removed. Any loose brick is removed and replaced.

	4. 6mm diameter holes are drilled through the wall at approximately 250 to 300mm distance. The holes are cleaned with water spray or air. 5. The meshes are installed on both sides of the wall and wrapped around the corners and wall edges. An overlapping length of approximately 300mm is needed. 6. Wire is passed through the holes and used to connect the meshes on both wall sides. In order to prevent the wires from cutting the PP-band mesh, a plastic element is placed between the band and the wire. Connectors are placed in proximity of the wall intersections and of the wall edges. 7. The top and bottom edges of the mesh are glued to the foundation and top of the wall by epoxy resin. The epoxy is used to connect the bars and the wall and it is not directly applied to the mesh. The bands, which are rolled around the bars, transfer their load through friction. 8. The overlapping parts of mesh are glued together so as to ensure the continuity of the strengthening. 9. A layer of mortar is laid on top of the mesh to protect it from UV radiation and rain, and also to provide further bond.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Macabuag J., Smith A., Redman T., Bhattacharya S. (2009). Investigating the Use of Polypropylene for Seismic Retrofitting of Masonry Buildings in Developing Countries. XI International Conference on Non-conventional Materials and Technologies - NOCMAT 2009, Bath, UK. Mayorca P., Meguro K. (2004). Proposal of an Efficient Technique for Retrofitting Unreinforced Masonry Dwellings. XIII World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada.
Notes:	

Corner confinement by steel mesh	
Name:	Corner confinement by steel mesh
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Horizontal stripes of FRPs/GFRPs bonded at various levels along a masonry panel and anchored to the side walls can be used to restore corner connections, thus preventing overturning of walls and better structural response to horizontal loading, almost without any increase in mass.
Limits / Applicability / Restrictions:	The system involves the removal of existing plaster and surface application of a net; therefore, it might not be suitable in all those cases where the preservation of the original appearance of the building is pursued.
Documented seismic performances:	San Bartolomé et al. (2004 and 2008) report the result of a pilot project for the strengthening of adobe structures by electrically welded metallic mesh. Six houses retrofitted in 2001 and the five houses retrofitted in 2007 survived the earthquakes in 2001 (South Peru) and in 2007 (Central Peru) without any damage (San Bartolomé et al., 2008).
Application procedures and remarks:	The installation procedure consists of: 1. Removing existing plaster and cleaning the surface of the walls; 2. Drilling holes at at a regular distance of about 0.5m; 3. Filling the holes with mortar and embedding the connecting steel bars; 4. Placing the wire meshes, fixing them to the wall with nails and small metal caps, and bending the connecting bars; 5. Covering the strips with cement based mortar.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance /	

Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	San Bartolomé Á., Quiun D., Zegarra L. (2004). Effective System for Seismic Reinforcement of Adobe Houses. XIII World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. San Bartolomé Á., Quiun D., Zegarra L. (2008). Performance of Reinforced Adobe Houses in Pisco, Peru Earthquake. XIV World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
Notes:	

Crack and void grouting	
Name:	Crack and void grouting
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: • To reconstitute structural continuity between walls separated by use of grout injection • To fill voids by disintegration from moisture, differential settlement,seismic events, roots, animal activity or any other invasive process Advantages: • Low tech equipment and workmanship
Limits / Applicability / Restrictions:	Not sufficient to considerably improve seismic performance, but sufficient to reconstitute previous in-plane continuity. Characteristics of the repair grout should be low yield value and viscosity, good penetrability, low bleeding and shrinkage and adequate rate of strength development (On Lee 2009). The use of strong earthen grouts or stronger than the original materials should be avoided; the use of stiff grouts is also incompatible, since the displacements of the earth construction would not be the same as those of the grout; the strength developed by the earth grout must be adjusted to the demands of the level of structural damage of the construction (Silva 2010). The addition of stabilisers, such as cement or lime, has to be considered carefully since they increase the stiffness of the hardened earth grouts (Silva 2010), but also because it can affect durability of earthen materials.
Documented seismic performances:	Pio Pico Adobe, California – grouted cracks repaired in 1991 after 1987 earthquake performed well in 1994 earthquake
Application procedures and remarks:	Crack can be closed superficially with clay mortar before clay suspension is injected with a grouting pump (Jäger and Fuchs 2010), at intervals of 25cm. The procedure was carried out twice to close shrinkage gaps, at a pressure < 2 bar. Process begins low in the wall and proceeds upwards. For voids, syringes can be used (Crocker 2000). In warm dry climates, grouting can be carried out in cooler times of the day, i.e. early morning or late evening, as carried out by Jäger 2010.
Improved by the simultaneous use of:	Global techniques
Possible mistakes in the application:	Problems: 1) Can grout penetrate fine cracks? 2) Segregation and shrinkage of the grout due to absorption of water from existent material 3) Difficulty of grout penetration 4) Low injection pressure to avoid air trapping and fine voids (Müller recommends gravity injection, Jäger 2010 < 2bar

Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Check swelling and spalling of earthen material around the crack.
Long term performance / Durability:	Depends on compatibility (microstructural and chemical) between grout and historic material Clearly, chosen grout should be durable and not compromise durability of historic material.
Standards and/or Recommendations:	None known of for crack repair of earthen materials Even a design methodology for earthen materials such as Toumbakari´s (2002) is missing. One for earthen materials should be defined. On Lee (2009) proposes: - identification of physical properties of the specimens including fluidity, segregation, porosity, capillary absorption and electrical resistivity; - identification of mechanical properties of the specimens including retraction mechanism, compressive strength, flexural strength and elastic modulus; - identification of rheological properties including the flow curve, flow resistance and cohesion coefficient.
Referencess:	Crocker, E. (2000) Earthen Architecture and Seismic Codes; Lessons From the Field, Presented at UNESCO, ICOMOS and Turkish Ministry of Culture, International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings, November 16-18 2000, Istanbul, Turkey. Jäger, W.; Fuchs, C. (2010): *Reconstruction of the Sistani House at Bam Citadel after the collapse due to the earthquake 2003*. In: Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction: Bath 2008, pp. 1181–1187. Jaeger, W.: *Work in Progress: Restoration and Reconstruction of World Heritage in Seismic Areas: The Sistani House in Bam, Iran*. Kerpic08 - Learning from earthen architecture in climate change (2008). Cyprus International University: Lefko_a (Northern Cyprus), 47 – 55. On Lee, Y., (2009), Study of earth-grout mixtures for rehabilitation, Master´s thesis Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, University of Minho, Portugal 2009. Roselund, N., (1990), Repair of cracked walls by injection of modified mud", 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints: Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990, ed. Kirsten Grimstad, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 336-41. Silva, R. A.; Schueremans, L.; Oliveira, D. V., (2010), Repair of earth masonry by means of grouting: importance of clay in the rheology of a mud grout (2010), Proceedings of the 8th International Masonry Conference 2010, Dresden, Germany, pp. 403-412. Toumbakari, E.: *Lime-Pozzolan-Cement Grouts and their Structural Effects on Composite Masonry Walls*, 2002. K.U. Leuven: Leuven 2002. Vargas, J.; Blondet, M; Cancino, C.: *Research on the Use of Mud-Based Grouts in the Repair of Structural Cracks in Adobe Walls*, MEDITERRA 2009 (2009): Cagliari.
Notes:	

Crack Stitching	
Name:	Crack Stitching
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Reconstitute structural continuity between walls separated by using"stitches", which are either made of clay bats and fibres, or steel/fibreglass rods embedded in epoxy or other grouts. Glass fibre rods have the advantage that they do not corrode, that they are not affected by termite infestation (unlike other fibres that may be used), that they have a low modulus of elasticity compared to steel.
Limits / Applicability / Restrictions:	Compatibility is the main restriction, in particular when grouts are used. The effectiveness of the technique has not been assessed other than visually (Hurd 2006).
Documented seismic	Pio Pico Adobe, California.

performances:	
Application procedures and remarks:	Jäger and Fuchs describe the use of needles bored in 30mm boreholes and fixed with grouting (earth-based).
Improved by the simultaneous use of:	Global technique.
Possible mistakes in the application:	Incompatibility of grouts with original materials when stitches are embedded in grouts.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Depends on mortar. Durability can be affected if the nails are embedded in a mortar which is incompatible to the earthen material.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Jäger, W.; Fuchs, C. (2010): *Reconstruction of the Sistani House at Bam Citadel after the collapse due to the earthquake 2003*. In: Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction: Bath 2008, pp. 1181–1187. Silva, R. A.; Schueremans, L.; Oliveira, D. V., (2010), Repair of earth masonry by means of grouting: importance of clay in the rheology of a mud grout (2010), Proceedings of the 8th International Masonry Conference 2010, Dresden, Germany, pp. 403-412.
Notes:	

Cross beam built from the intrados of the existing wooden floor	
Name:	Cross beam built from the intrados of the existing wooden floor
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Cross ties/anchors without end plate	
Name:	Cross ties/anchors without end plate
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Anchors with no end plates consist of a metallic profile that is embedded in the masonry and can transmit loads to the substratum by mechanical locking, friction, bond or a combination of these three, rather than use of an element such as a plate, a key or a peg. Mechanical locking can be obtained for instance by undercut, namely shaping the end part of the hole and introducing an anchor with an end shape so as to result larger than the rest of the shaft. Friction systems, instead, consist of torsion or displacement-expansion anchors, which are designed to introduce a radial pressure between the anchor and the hole. Finally bond systems rely on the use of a binding agent, which is either injected or released through a

	capsules system. A fairly common commercial product consists of metallic profiles shaped as a coil; such profiles can be dry screwed in the masonry, thus mainly relying on a mechanical and frictional mechanism, or injected with resins/grout, in which case they work through the bond established between masonry and binder. Another popular system is formed by steel sections provided with a fabric sleeve; profiles are installed in holes and then grout/ resin is injected in the sleeve, so that the sleeve moulds itself to the spaces and voids in the wall and creates a mechanical locking as well bond system. The further advantage of this latter system is that control over the diffusion of the binder within the parent material. The system provides the same performance as cross-ties with end plates, namely ensures a box-like behaviour of the structure and prevents the separation of the elements at the connection (orthogonal walls or wall and horizontal structures).
Limits / Applicability / Restrictions:	A variety of materials, ranging from mineral binders to polymers, can be used as binder. However, materials based on polymers, such as epoxy or polyester resins, which are often used for concrete structures, should needs to undergo careful assessment before using in historical masonry, due to possible issues regarding the mechanical and physical compatibility. Much more common for the repair of historical buildings are mineral binder systems based on cement or hydraulic lime with the addition of admixtures and fillers or aggregate. Drilling is required in this type of intervention; however, depending on the quality and typology of the parent material and on the geometry of the structure, it might not always be possible to proceed to drilling in the required positions. Furthermore, the system is not visible once installation is completed; this might be an advantage in all those cases where an "invisible" intervention is sought, but it might result a drawback when a clear distinction between original and additional elements is required.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The installation of anchors is carried out by: • Drilling holes in the parent material; due to the weakness and preciousness of the parent material, dry/ wet diamond rotary drilling rather than percussive drilling is recommended; • Removing all cores from the bore hole and checking the depth. Removing dust and debris; • Placing anchors and injecting the binder.
Improved by the simultaneous use of:	Consolidation of masonry might be useful to improve the capacity of the substratum and to ensure a better transmission of loads. Grouting is highly recommended in case of multi-leaf masonry so as to ensure a monolithic behaviour of walls.
Possible mistakes in the application:	Grouting should be carefully carried out according to the producer's instructios so as to ensure that the borehole is entirely filled out and the binder can cure properly, reaching the expected mechanical properties.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	The use of corrosion-resistance materials embedded in grout or resin ensures long-term durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Gigla B. (2010). Comparison of Failure of Injection Anchors as Supplementary Reinforcement Inside Masonry and Concrete. VIII International Masonry Conference, Dresden, Germany, pp. 2019-2028. Gigla B. (2004). Bond Strength of Injection Anchors as Supplementary Reinforcement Inside Historic Masonry. XIII International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, Netherlands. pp. 1-10. Gigla B., Wenzel F. (2000). Design Recommendations for Injection Anchors as Supplementary Reinforcement of Historic Masonry. XII International Brick and Block Masonry Conference, Madrid, Spain, pp. 691-706. Wenzel F. (1999). Die statisch-konstruktive Sicherung. In Wenzel, C. (Ed.) Die Auguste-Viktoria-Himmelsfahrtskirche auf dem Ölberg in Jerusalem und ihre Instandsetzung und Wiedererrichtung 1988 bis 1993. Karlsruhe, Germany, Sonderforschungsbereich SFB 315 'Erhaltung historisch bedeutsamer Bauwerke'. Wenzel F., Gigla B., Kahle M., Stiesch G. (2000). Historisches Mauerwerk - Untersuchen, Bewerten und Instandsetzen (Historical masonry - Investigation, evaluation and restoration), Karlsruhe, Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe.

Notes:	

Cross-ties/anchors with end plate	
Name:	Cross-ties/anchors with end plate
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Modern metallic ties, which are designed like traditional ties except for the use of corrosion-resistant material, are still in use for the strengthening of connections between horizontal and vertical structures, as well as between sets of perpendicular loads and vaults/domes and vertical structures. Metalli ties ensure unitary behaviour of the structure and redistribution of horizontal loads depending on the stiffness of the bearing walls. They also prevent overturning and out-of-plane damage mechanisms.
Limits / Applicability / Restrictions:	The use of end plates means that the intervention will be visible on the facade of the building. The system is applicable both at the roof level and at the floor levels.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	Local consolidation of masonry by grouting to improve capacity of the masonry fabric and to ensure better transmission of load between the end plate and the wall.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	End plates are placed at the outer face of wall or in a small recess; especially in the case of post-tensioned ties inspection and tensioning are needed, therefore the anchorage should be located in a position that facilitates periodic maintenance.
Long term performance / Durability:	The choice of corrosion-resistant materials should ensure long durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Borri A., Avorio A., Cangi G. (1999). Riparazione degli Edifici in Muratura: il “Manuale” della Regione dell’Umbria. IX Convegno Nazionale Ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Torino, Italy (in Italian). Jurina L. (1997). I tiranti metallici nel consolidamento degli edifici monumentali. Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio, Ancona, Italia (in Italian). Tomaževič M. (1999). Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings. ImperialCollege Press, London.
Notes:	

Diaphragm	
Name:	Diaphragm
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	If full diaphragm is used, bond beam should be designed accordingly (this refers mostly to concrete bond beams).
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Tolles et al. (2002) claim that diaphragm stiffness need not be great due to relative weakness in-plane with respect to out-of-plane in the case of massive walls (due to ability to rock out of plane). In the case of thin-walled adobe buildings, diaphragm similar to other types of construction (better load redistribution) should be used (Tolles et al. 2002). This has not been tested. New Zealand code claims that above a certain seismic risk, structural diaphragms are beneficial. This has also not been tested.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	

Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	Standards New Zealand (1998b) NZS 4299: 1998 Earth Buildings Not Requiring Specific Design. Wellington, N.Z.: Standards New Zealand.
Referencess:	Tolles, E. L., Webster, F.A., Crosby, A., Kimbro, E.E. (1996) Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake", The Getty Conservation Institute, 1996. Tolles, E. L., Kimbro, E. and Ginell, W.S. (2002). "Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures". Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002.
Notes:	Global intervention if connected to walls.

Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls	
Name:	Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: to reintroduce structural integrity at cracks between perpendicular walls by means of dowels.
Limits / Applicability / Restrictions:	Only effective during moderate ground motions. During strong motions, cracks can occur adjacent to the dowels.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	This technique is not seen to be particularly effective unless ground motions are moderate.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. L., Kimbro, E. and Ginell, W.S. (2002). "Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures". Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002.
Notes:	

Ductile anchor plates	
Name:	Ductile anchor plates
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The ductile anchor plates were developed by Monumenta and University of Minho, to ensure a global behaviour of masonry buildings and avoid local out-of-plane mechanisms of walls. These enhanced anchor plates take advantage of their shape to increase ductility and have a better performance, under seismic action, than the standard (flat) anchor plates. The ductile plates are circular and have a double curved shape with a uniform thickness of 6 mm. The external diameter is 250 mm while the internal one is 65 mm. The six notches are 8 mm wide and axisymmetrically distributed every 60°. The plate itself is curved, having only two horizontal surfaces, at the top where it rests the hinge (half spherical cup) to which the tie rod is anchored and at the contact surface with the substrate. To better distribute the seismic action, the solution contemplates a complementary base plate between the ductile anchor plate and the substrata. The solution is intended for wall-to-wall connections but can also improve wall-to-floor connections, when applied at floor level. This systems aims at restoration of box-like behaviour and prevention of out-of plane mechanisms of masonry walls. If correctly designed, it will reduce the risk of damage to the wall during seismic action, meaning that failure modes like formation of the shear pull-out cone (punching) and crushing of the masonry

	under the anchor plate will be prevented. Consequently, costs of repair will be reduced. To sum up, the ductile anchor plates aim at increased ductility of the connection, more energy dissipation and less damage on the structure.
	
	Advantages:
	
	• Box-like behaviour ensured, by preventing out-of-plane collapses of walls;
	• Minor aesthetic impact. Anchors plates are visible on the external face of the wall but are relatively small when compared to the scale of the building;
	• Reversibility. Tie rods and anchor plates can be removed, with minimum damage to the wall, before and after seismic action;
	• Ductile anchor plate:
	  ○ Appropriate design prevents failure modes related with the masonry wall, like formation of pull-out cone or crushing of masonry under the anchor plate;
	  ○ The device is design to perform in the plastic range, up to failure, so that its dissipative capacity is fully explored;
	  ○ Tie rod and distribution arm are designed to work in the elastic range, so that the ductile plate can be substituted after a major earthquake.

Limits / Applicability / Restrictions:	The strengthening solution has general application on masonry buildings and is expected to perform better than standard systems of anchor plates and tie rod. In heritage buildings, concerns with architectural detailing can compromise its application on the required position. This can be overcome, by studying solutions to conceal the system. In general application and especially in case of poor parent material, it is recommended improvement of the substrata under the anchor plate. This can be achieved by a reinforced mortar cushion between the substrata and the ductile anchor plate. Limits • Architectural restrictions, especially on heritage buildings, can limit its application. The preservation of architectural finishes can restrict the application of the strengthening in the required position. • Ductile anchor plate: If the ductile anchor plate is oversized, larger deformations will occur in the distribution arm and tie rod, and formation of a pull-out shear cone can occur in the masonry wall
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	As described previously, the strengthening system consists of two main components: the tie rod and the ductile anchor plate. In the case of the double anchor plate, besides these two components there is a distribution arm connecting both plates. To install the system, a set of tasks should be carried out: positioning the anchor plates, drilling the wall, preparation of the substrate, tie rod insertion, anchor plates placing and tie rod tensioning. *Positioning* • Carefully set out the anchor position using a wax crayon or chalk, as per specifications, or as directed by the structural engineer or supervisor. *Drilling* • Select the drilling method specified; for heritage buildings, due to the weakness and preciousness of the parent material, dry/ wet diamond rotary drilling rather than percussive drilling is recommended; • Drill the hole throughout the entire thickness of the wall. Remove all cores from the bore hole. Remove dust and debris from the wall and clean all stains immediately. *Preparation of the substrate* • Using wax crayon or chalk, draw the boundaries of the surface where the mortar will be placed, as specified; • Remove dust and wet the surface with clean water, to improve adhesion between mortar and substrate; • Prepare the mix of mortar, according to specifications, and apply a first layer on the wall;

	• Place the steel mesh on the mortar and apply a second layer; • Let it cure according to project specifications; *Tie rod insertion* • Carefully unpack the tie rod and check if there has been damage to it during transit; • Place the tie rod in the bore hole, leaving 100 mm past the external face of the wall; *Anchor plates placing* • Insert the base plate and then anchor plate trough the tie, and screw the nuts; *Tie rod tensioning* • Tighten the nuts with a torque wrench to a specified force; • Using turnbuckles, adjust the tension of the tie rods.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	EN 1996:2005: Eurocode 6 – Design of masonry structures. EN 1998:2004: Eurocode 8 – Design of Structure for Earthquake Resistance. FEMA 356 (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. ASCE, Washington, USA. NZSEE (2006). Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes: Recommendations of a NZSEE study group on earthquake risk buildings, New Zealand Society for Earthquake Engineering.
Referencess:	Appleton, J. Reabilitação de edifícios gaioleiros. Lisboa : Edições Orion, 2005. Cóias, V. S. Reabilitação estrutural de edifícios antigos. Lisboa : ARGUMENTUM GECoRPA: GECoRPA, 2007. Mascarenhas, J. Sistemas de Construção V - O Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina. Materiais Básicos: o Vidro - 2ª edição revista e actualizada. Lisboa : Livros Horizonte, 2005. Modelling and vulnerability of historical city centers in seismic areas: a case study in Lisbon. Ramos, Luís F. e Lourenço, Paulo B. 2004, Engineering Structures, pp. 1295–1310. Seismic evaluation of old masonry buildings. Part I: Method description and application to a case-study. Cardoso, Rafaela, Bento, Rita and Lopes, Mário. 2005, Engineering Structures, pp. 2024-2035. Seismic evaluation of old masonry buildings. Part II: Analysis of strengthening solutions for a case-study. Bento, Rita, Lopes, Mário e Cardoso, Rafaela. 2005, Engineering Structures, pp. 2014-2023.
Notes:	

Enlargement	
Name:	Enlargement
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	

Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

External support system	
Name:	External support system
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Temporary or fixed non invasive propping of free-standing elements.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

External wall plates/Timber bands	
Name:	External wall plates/Timber bands
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Since introducing wall plates above the walls results in loss of historic material, other options should be considered when dealing with the issue of reconnecting the roof structure to the earthen walls underneath. Therefore: • Wall plates above walls can only be introduced when roof is not present, or removal is viable; • External timber bond beams, through-wall tied, can solve the above-described issue;

	• Guidelines should indicate roof-wall plate connection. In particular timber bands can be implemented in the form of: 1. External timber beam with steel through tie, fixed to horizontal elements by means of steel through-bolts 2. External timber beam with steel through tie, fixed to horizontal elements by means of steel angles 3. Timber cross-elements fixed between existing horizontal elements and dowelled to wall. Connection between existing horizontal elements and cross member to be carried out by means of steel ties or nails as allowed by geometry
Limits / Applicability / Restrictions:	This system has never been tested nor modelled. It is therefore recommended that careful experimental and numerical assessment is carried out prior to the intervention.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Extrados r.c. jacketing	
Name:	Extrados r.c. jacketing
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The main aim is to remove the extrados filling and decrease the loads on the vaults. Advantages: • decrease compressive stress on the vaults; • the strengthening introduce tensile strength; • increase the stiffness of the structure.
Limits / Applicability / Restrictions:	Invading strengthening modifies strongly the mass and stiffness distribution in the structure. Produce a strong decompression in the original vault then produce an anticipated failure induced by the brick disengagement from the vault ring. Fully irreversible. Reinforced concrete generated significant deterioration due to incompatibility (mechanical, physical, chemical, rheological and thermal) with the original materials. Irreversible technique.
Documented seismic performances:	In case of earthquake, the vibration can be producing the collapse of part of masonry vault (Ferrari et al., 2010).
Application procedures and remarks:	1. shore up the vault at the intrados; 2. remove filling on the extrados of the vault; 3. hole drilling and insert pins inject with mortar or polymer resin on the extrados of the vault and on

	the vertical masonry to link the strengthening to the existing structure; 4. wet the extrados with water for clean the surface, but also to saturate the masonry vault, avoiding the masonry suction; 5. close the superficial crack with mortar; 6. laying of welded steel mesh; 7. casting the concrete.
Improved by the simultaneous use of:	Extrados stiffening elements, mainly in barrel vaults “frenelli”.
Possible mistakes in the application:	Do not connect the concrete slab with pins at the masonry vault and vertical walls. Do not shore up the vault before to remove the filling.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Depends on compatibility (physical, chemical and mechanical) between masonry and reinforced concrete (corrosion of steel, superficial salts, etc.).
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Caleca L., De Vecchi A. (1983). Tecnologie di consolidamento delle strutture murarie. Dario Flaccovio, Palermo. Gurrieri F. (1999). Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici. Regione Umbria, Dei tipografia del genio civile, Roma. Ferrario L., Marini A., Riva P., Giuriani E. (2010). Proportioning criteria for traditional and innovative extrados techniques for the strengthening of barrel vaulted structures subjected to rocking of the abutments. Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 4, No. 1.
Notes:	

Extrados stiffening elements (frenelli)	
Name:	Extrados stiffening elements (frenelli)
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Stiffening masonry elements were frequently added in the past. They could be built with the vault or added at the extrados in a second time.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG	
Name:	Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG
Type of intervention:	Local

Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Frictional anchor dissipative device	
Name:	Frictional anchor dissipative device
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Anchoring devices are dissipative devices specifically designed to address the lack of passive systems for the seismic protection of heritage buildings. They specifically tackle overturning mechanisms of wall panels, this being common and recurring in heritage buildings due to the poor quality of wall-to-wall connections or to existing damage due to past seismic events, settlements, or general wear and tear. The devices are installed in series with a standard grouted metallic anchor, at the location where cracking exists or is most likely to occur. Thanks to a friction mechanism set to be triggered for a certain level of pulling/pushing force, the dissipative devices allow small relative displacements, dissipating energy and hence reducing the impact of seismic force on the walls, and controlling damage. The devices are conceived and designed to restore the connections between sets of perpendicular walls, like traditional ties, but also to provide joints with extra ductility, thus preventing brittle failures, such as pull-outs and punching, which generally affect traditional cross-ties due to their high stiffness in respect to historic substrata. Main advantages: • Restoration of box-like behaviour with negligible increase in mass. Horizontal loads are distributed among bearing walls according to their stiffness. Increase of mass, which is associated to the use of systems such as concrete ring beam, is avoided, thus preventing damage and collapse associated to a concentration of mass at the level of horizontal structures. • No aesthetic impact. Anchors are embedded within the masonry and, as such they can be conceived; • Reversibility. Anchors can be over drilled; however, this process might results intrusive and disruptive, therefore it should be avoided as much as possible; • Brittle failures, such as punching and pull-out, which are typical of standard anchors are prevented thanks to the presence of the dissipative device • Prevention of damage in the substratum as relative displacements occur by sliding of the frictional elements; the perpendicular pressure controlling the device needs to be carefully chosen and set so as to make sure that slip occurs for a tensile load lower than that causing damage in the anchor assembly or parent material. • Reduction of load transmitted to parent material thanks to friction load. • The device provides different types of performance depending on the level of acting load: elastic, frictional, elastic and plastic up to failure; therefore the system can be tailored according to design limit states; • Ease of maintenance: connections of the device to the anchor are designed to remain in the elastic field, so that the dissipative element can be substituted after a major earthquake. • Flexibility: the perpendicular pressure that controls the system performance can be tuned to suit

	different needs in terms of activation load, thus matching the mechanical properties of different historic substrata.
Limits / Applicability / Restrictions:	The system is generally applicable and provides better performance than standard anchor thanks to its ductility. This means that in case of good quality parent material, the anchoring devices will improve the performance in respect to a standard anchor, reducing or even eliminating damage in the parent material and in the anchor assembly. In case of very poor or loose parent material, the dissipative anchoring device will ensure a higher level of safety in respect to standard anchors, which might instead pull out without offering any resistance to the seismic action. Limits • Presence of precious finishes and geometry of the building might restrict or prevent the possibility of drilling anchors in the required position.
Documented seismic performances:	In the case of stick-and-slip anchoring devices, the performance is completely defined by point F, namely the load at which the devices start sliding depending on the level of perpendicular pressure applied on the device assembly; beyond this point the load-displacement curve is flat until the device reaches the end of its run, i.e. its maximum displacement capacity. When the perpendicular friction within the assembly is high, a further increase in friction, and hence load, beyond F is recorded; this is likely to be connected to mechanical locking within the device assembly and is difficult to quantify. It is conservatively assumed that F represents the maximum load capacity. The ratio between slip load and perpendicular pressureis averagely equal to 0.33. Frictional anchor devices offer the advantage of a full control on the level of load at which the sliding mechanism is triggered, thus overcoming the problem of early pull-out failures. Furthermore, stick-and-slip devices considerably increase the ductility and energy dissipation of the structural connection. In general, it can be said that the devices are effective in preventing, or at least reducing the damage in the parent material and anchor assembly. Furthermore, the use of the anchoring devices offer the advantage of homogenising the performance of the anchors, reducing the scattering observed for strength-only anchors and allowing a better control on the strengthening system. Experimental results are fully reported and discussed in the literature and in WP6 of the NIKER project.
Application procedures and remarks:	As the system relies on a combination of the dissipative anchoring devices with a grouted metallic anchor encased in a fabric sleeve, the execution of the intervention is similar to that of metallic anchors and should be carried out according to the producer's specifications. In general the procedure is as follows: *Drilling* • Carefully set out the anchor position using a wax crayon or chalk, as per specifications, or as directed by the structural engineer or supervisor. • Select the drilling method specified; for heritage buildings, due to the weakness and preciousness of the parent material, dry/ wet diamond rotary drilling rather than percussive drilling is recommended. • Drill the hole to the required embedment depth. Remove all cores from the bore hole and check the depth. Remove dust and debris from the wall and clean all stains immediately. *Anchor Insertion and grouting* • Carefully unpack the anchor and check there has been no damage to the fabric sock during transit. Small tears or rips in the sock can be repaired using a needle and strong cotton or a hot melt glue stick. Do not shorten the length of the sock on the anchor. • Immediately prior to insertion completely wet the sections of anchor encased in the sleeve with clean water, and position the sock evenly along the length of the anchor. • Join the sections of the anchor, namely the standard threaded bars encased in the fabric sleeves and the dissipative device/s, which will not be embedded in grout, but will remain in the free space between one sock and the other within the borehole. • Place the anchor in the bore hole and carefully push the anchor in, lifting it over any fissures or voids, do not force or twist the anchor into the hole. • Install the anchor to within 50mm of the face of the brickwork (do not push completely in.). Ensure that the dissipative device is placed in correspondence of the existing crack that should be repaired, or in correspondence of the point of the connection where cracking is most likely to occur. • When inserting the anchor ensure that the injection tubes are towards the top of the borehole - never force or twist the anchor into the hole.

	• When mixing the grout, the water content can be increased by up to 10% e.g., 25 kg (56 lbs) of grout to 5.5 litres of water+ 10% = 6.05 litres. Cut mastic nozzle to fit over the injection tube. • Proceed to inflate the sleeves from the backmost towards the front. • When inflating anchor slowly rotate the anchor in the borehole to facilitate the grout flow and to ensure the anchor is centralised on completion. Maintain the pressure until all the grout milk has been expelled. Proceed in a similar fashion until all the sleeves in the assembly are fully grouted.
Improved by the simultaneous use of:	If one wants to further improve the performance level in weak substrata, grouting might be performed to the purpose of facilitating the transmission of load from the anchor to the parent material. Undercutting of the drilling hole can also be applied to achieve better pull-out capacity of the anchor assembly.
Possible mistakes in the application:	Grouting should carefully carried out to avoid presence of voids within the grouted cavity and to ensure that the grout achieves the expected load capacity.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Devices should be checked and inspected after seismic events of intensity moderate to high so as to check that the assembly has suffered no major damage and will be able to withstand future events.
Long term performance / Durability:	The use of stainless steel elements grouted within a wall cavity ensures good long-term durability. The durability of the frictional plates of the device in terms of stability of friction coefficient depending on the number of cycles the device has undergons is still being studied.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	D'Ayala, D., Paganoni, S. (2012) Protocol for Testing and Design of Dissipative Anchor Devices. In print for Structures and Buildings, special issue on "Strengthening of Structures under Seismic Loading". Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010a) Experimental and Computational Validation of Dissipative Prototypes for the Seismic Protection of Heritage Buildings. In Proc. of Structural Analysis of Historic Constructions - SAHC 2010, Shanghai, China. Oct 10. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010b) Dissipative Device for the Protection of Heritage Structures: a Comparison of Dynamic Tests and FE Models. In Proc. of the 14th European Conference of Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia. Sept 10. Paganoni, S., D'Ayala, D., James, P. (2010) Experimental Procedure for the Validation of a Dissipative Anchor Device. In Proc. of the Structural Faults and Repair 2010, Edinburgh, UK. Jun 10. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2009). Development and Testing of Dissipative Anchor Devices for the Seismic Protection of
Notes:	

FRP/SRP/SRG application on vaults	
Name:	FRP/SRP/SRG application on vaults
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The main aim is resisting to tensile stress, alters the brittle collapse mechanism of the unreinforced structure, preventing the formation of some hinges, because the edge of two adjacent faces are constrained not to split by the reinforcement's presence on that surface. Advantages: • partially reversible technique; • increase tensile strength of the vault; • improves the kinematic behaviour; • mostly used on curved structure for their morphological adaptability; • lightweight; • low modulus of elasticity compared to steel.
Limits / Applicability / Restrictions:	Compatibility, anchorage and de-bounding are the main problems. The strength and stiffness of fibres is higher than those of resin, whereas the ultimate strain is usually lower and represents a limit for the whole composite material.

	This technique creates zones with widely varying stiffness and strength properties.
Documented seismic performances:	Since no details have been found in the literature.
Application procedures and remarks:	At the extrados: 1. shore up the vault at the intrados; 2. remove filling on the extrados of the vault; At intrados and extrados: 1. clean the surface where the FRP will be applied; 2. apply first layer of polymer resin; 3. apply fibers; 4. apply second layer of polymer resin (overcloating).
Improved by the simultaneous use of:	Extrados stiffening elements “frenelli”, mainly in barrel vaults or metal ties.
Possible mistakes in the application:	The application surface must be clean from dirt, oil, powder and paint. Sandblasting allows the removal of dirt and of any material deteriorated. The application must be made with a temperature greater than 5 °C, because low temperature retard the polymerization and low humidity because the water decrease the characteristic of polymer resin.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	Recommendation for the application procedures are described in the following documents (in italian): CNR-DT 200/2004 and Compositi FRP. Linee guida per il rinforzo strutturale (2004).
Referencess:	Agneloni E. (2002). Compositi FRP. Linee guida per il rinforzo strutturale. TEC-INN Tecnologie innovative, NTC Global media, San Mariano, Perugia, Italy. CNR-DT 200/2004 (2004). Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Valluzzi M.R, Tinazzi D., Modena C. (2002). Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. Construction and Building Materials, Elsevier, No. 16, pp. 409-416.
Notes:	

Geotextiles at both faces, through-wall tied	
Name:	Geotextiles at both faces, through-wall tied
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Increase system ductility.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	Pio Pico Adobe, California.
Application procedures and remarks:	Sikka and Chaudhry (2006) suggest use of jute fibres as alternative Since they are susceptible to biological damage (termites, rot, biodegradable), consider use of fortress product no. 9500 bestmaterials.org asphalt saturated jute fabric.
Improved by the simultaneous use of:	Earth plaster (Locally), Bond beam, effective Roof-wall connection (Globally).
Possible mistakes in the application:	Lack of suitable through-wall connection.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance /	

Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Torrealva, D., Vargas Neumann, J., Blondet, M. (2006) “Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Catòlica del Perú”, Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, 2006, pp. 3-10.
Notes:	

Grout injection	
Name:	Grout injection
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: This intervention consists on injecting binder mixtures of different types into the masonry, using particular techniques, in order to: 1. Reconstitute the structural continuity of the masonry; 2. Increase the masonry homogeneity, filling voids; 3. Improve the masonry mechanical properties, (increase the masonry strength); 4. Fill cracks. Advantages: 1. Low tech equipment and workmanship; 2. Possible use of premix grouts.
Limits / Applicability / Restrictions:	Applicability: This intervention should be used when the deterioration of the masonry is due to the binder and when within the wall section there is a certain amount of voids, sufficiently interconnected between them, to allow the mixture to penetrate and spread through the wall; the technique is appropriate for stone masonry when diffuse lesions are present, in which there is usually a higher percentage of inner voids when comparing with other type of masonry. The choice of the mixture to inject is done by selecting the best characteristics for the type of wall on which to intervene, for example, the mechanical strength of the mixture and its deformation characteristics, (Elastic Modulus and Poisson's Ratio), should be similar to those of the original wall. To obtain a high penetration of the mixture, the size of the composing materials should be small and homogeneous and the mixture should present a low-viscosity in the fluid state, the curing and hardening period should be suitable for the execution of the intervention and the shrinkage must be limited, the chemical properties of the binder should be maintained throughout time and should be compatible with those of the original mortar, the mixture should not be soluble in water, should not vary in volume with moisture and should not obstruct the movement of vapor; finally, the material used to create the mixture should be easily found and inexpensive. The technique is effective in the crack filling. Limits: The main limit of the technique is related to the frequent lack of voids in masonry. The grout cannot spread throughout the section. In this case the technique is ineffective. Gypsum mortars or stones rich in sulphate require particular grout composition.
Documented seismic performances:	Sometimes, in the case of disastrous events such as earthquakes, an apparent ineffectiveness of the consolidations using injection is observed. In fact, in these cases there is an inhomogeneous execution of the intervention due to: (1) a poor design of the injection mixtures, (2) a rough and uncontrolled execution of the intervention, (3) a punctual distribution of the mixture due to the excessive distance between the injection holes. The ineffectiveness of the interventions injection, therefore, is due to poor execution of the same, not the technique itself. Surveys after the 1997 earthquake in Umbria on damaged walls often showed the difficulty of diffusion of the grout injection within stone masonry sections. Frequently only some spots were injected in the case of this wall with a very low percentage of voids, (Binda 2003).

Application procedures and remarks:	The different phases of work necessary to carry out in order to perform an injection intervention are the following: 1. Choice of the injection point and of the layout, according to the masonry characteristic (presence of cracks, porosity, geometry, etc.); 2-3 injections point/m^2 could be effective; 2. Removal of the damaged plaster and crack filling (to avoid loss of grouts); 3. Hole drilling (diameter: 40.0mm); 4. Positioning of the injection devices and repointing by mortar; 5. Preliminary water injection in order to remove dust and disaggregate materials but also to saturate the wall, avoiding the masonry suction; 6. Evaluation of the injection pressure; 7. Grout injection, starting from the perimeter area of the base. These stages may have different characteristics depending on the mixture and on the injection technique adopted. Preliminary applicability tests on selected areas are highly recommended, as well as their visual inspection by local dismantling.
Improved by the simultaneous use of:	Steel-Ties.
Possible mistakes in the application:	The main problems connected to the grout injection can be summarized as follows: (a) the lack of knowledge on the size distribution of voids in the wall, (b) the difficulty of the grout to penetrate into thin cracks (2 to 3mm), even if microfine binders are used; (c) the presence in the wall, of fine and large size voids, which make difficult choosing the most suitable grain size of the grout (injecting large size voids with a fine grained mix can in fact induce segregation); (d) the segregation and shrinkage of the grout due to the high rate of absorption of the material to be consolidated; (e) the difficulty of grout penetration, especially in presence of silty or clayey materials; (f) the need for sufficiently low injection pressure to avoid either air trapping within the cracks and fine voids or even wall disruption. Therefore, the effectiveness of a repair by grout injection depends not only on the characteristic of the mix used, but also on its mechanical properties and on the injection technique adopted and once again on the knowledge of the wall type. The injectability of the grout is influenced also by its compatibility with the masonry to be repaired. The technical improvements of the last years has developed new grouts with specific properties, such as a low salt content and a ultra fine size of the aggregate, has shown how to optimize the injection methodology, such as the injection pressure or the distance between the injectors, in function of the masonry characteristics. Multiple leaf walls can be made with very poor mortars and stones but have very low percentage of voids (less than 4.0% of voids is not injectable) and have internal filling with loose material, which is not injectable.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If applicable, the technique does not require any particular control.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards were developed. Recommendation for the application procedures are shortly described in the following documents (in Italian): Legge Regionale Friuli Venezia Giulia, DT 2 del Novembre 1977. Decreto 2 Luglio 1981, Circolare 30 Luglio 1981.
Referencess:	Binda, L., Modena, C. and Baronio, G., 1993, Strengthening of masonries by injection technique, 6th North American Masonry Conf., Vol. I, Philadelphia, pp. 1-14. Binda, L., Modena, C., Baronio, G. and Gelmi, A., 1994, Experimental qualification of injection admixtures used for repair and strengthening of stone masonry walls, 10th Int. Brick/Block Masonry Conf., Calgary, Vol.2, pp. 539-548. Binda, L., Modena, C., Baronio, G., Abbaneo, S., 1997. Repair and investigation techniques for stone masonry walls, Construction and Building Materials, Vol. 11, N.3, pp. 133-142. Binda, L., Cardani, G., Penazzi, D., Saisi, A., 2003, Performance of some repair and strengthening techniques applied to historical stone masonries is seismic areas, Proc. ICPCM a New Era of Building, Cairo, Egypt, 2, 1195-1204. Laefer, D., Baronio, G., Anzani, A., and Binda, L., 1996, Measurement of grout injection efficacy for stone masonry walls, 7th North American Masonry Conf., Notre Dame, USA, Vol. 1, pp. 484-496. Miltiadou A. E., 'Contribution à l'étude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des

	structures et des monuments historiques en maçonnerie', Thèse de Doctorat. Ecole Nazionale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1990. Modena, C. and Bettio, C., 1994, Experimental characterization and modeling of injected and jacketed masonry walls, Proc. Italian-French Symposiu Penazzi, D., Valluzzi, M.R., Cardani, G., Binda, L., Baronio, G. and Modena, C., 2000, Behaviour of historic masonry buildings in seismic areas: lessons learned from the Umbria-Marche earthquake, 12th Int. Brick/Block Masonry Conf., Madrid, pp. 217-235. Penazzi, D., Valluzzi, M.R., Saisi, A., Binda, L. and Modena, C., 2001, Repair and strengthening of historic masonry buildings in seismic areas, Int. Congr. More than Two Thousand Years in the History of Architecture Safeguarding the Structure of our Architectural Heritage, Bethlehem, (Palestine), Vol. 2, Section 5. Tomazevic 1992. Tomazevic M., (1992), Laboratory and in situ tests of the efficacy of grouting and tying of stone masonry walls. Int. Workshop on Effectiveness of Injection Techniques and Retrofitting of Stone and Brick Masonry Walls in Seismic Area, ed. by L. Binda, Milan, pp. 95-116. Valluzzi, M.R. 2000. Comportamento meccanico di murature storiche consolidate con materiali e tecniche a base di calce. Ph.D. thesis, Università di Trieste. Valluzzi, M.R., da Porto, F., Modena, C. 2001. Modelling of the mechanical properties of injected multi-leaf stone masonry walls. Fifth International Symposium on Computer methods in Structural Masonry "STRUMAS V", Rome, 18-20 April 2001. Vintzileou, E. and Tassios T.P. 1995. Three leaf stone masonry strengthened by injecting cement grouts. Journal of Structural Engineering, May 1995, p. 848-856.
Notes:	

Horizontal nylon straps	
Name:	Horizontal nylon straps
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	Effective for limited wall length. At corners avoid stress concentration by means of "oversized" (compared to standard masonry) plates.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Applied to both sides of wall and can be applied at upper and lower level.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Frumento, S., Giovinazzi, S., Lagomarsino, D., Podesta´, S. (2006), Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Buildings in Italy, Proceedings of the 2006 NZSEE, Napier, New Zealand. Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. (2000) Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
Notes:	

Hysteretic anchor dissipative device

Name:	Hysteretic anchor dissipative device
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Anchoring devices are dissipative devices specifically designed to address the lack of passive systems for the seismic protection of heritage buildings. They specifically tackle overturning mechanisms of wall panels, this being common and recurring in heritage buildings due to the poor quality of wall-to-wall connections or to existing damage due to past seismic events, settlements, or general wear and tear. The devices are installed in series with a standard grouted metallic anchor, at the location where cracking exists or is most likely to occur. Thanks to the hysteretic properties of a stainless steel element, shaped to optimise its post-elastic behaviour, the dissipative devices allow small relative displacements, dissipating energy and hence reducing the impact of seismic force on the walls, and controlling damage. The devices are conceived and designed to restore the connections between sets of perpendicular walls, like traditional ties, but also to provide joints with extra ductility, thus preventing brittle failures, such as pull-outs and punching, which generally affect traditional cross-ties due to their high stiffness in respect to historic substrata. Main advantages: • Restoration of box-like behaviour with negligible increase in mass. Horizontal loads are distributed among bearing walls according to their stiffness. Increase of mass, which is associated to the use of systems such as concrete ring beam, is avoided, thus preventing damage and collapse associated to a concentration of mass at the level of horizontal structures. • No aesthetic impact. Anchors are embedded within the masonry and, as such they can be conceived; • Reversibility. Anchors can be over drilled; however, this process might results intrusive and disruptive, therefore it should be avoided as much as possible; • Brittle failures, such as punching and pull-out, which are typical of standard anchors are prevented thanks to the presence of the dissipative device • Prevention of damage in the substratum as deformation remains concentrated in the dissipative element; the size of the element needs to be carefully chosen so that yielding of the device occurs before any damage in the substratum or anchor assembly; • The device provides different types of performance depending on the level of acting load: elastic, frictional, elastic and plastic up to failure; therefore the system can be tailored according to design limit states; • Ease of maintenance: connections of the device to the anchor are designed to remain in the elastic field, so that the dissipative element can be substituted after a major earthquake.
Limits / Applicability / Restrictions:	The system is generally applicable and provides better performance than standard anchor thanks to its ductility. This means that in case of good quality parent material, the anchoring devices will improve the performance in respect to a standard anchor, reducing or even eliminating damage in the parent material and in the anchor assembly. In case of very poor or loose parent material, the dissipative anchoring device will ensure a higher level of safety in respect to standard anchors, which might instead pull out without offering any resistance to the seismic action. Limits • Presence of precious finishes and geometry of the building might restrict or prevent the possibility of drilling anchors in the required position; • If the dissipative element is oversized, the dissipative anchoring device will behave as a standard anchors, i.e. pull-out or punching might still occur.
Documented seismic performances:	Collected results show that, similarly to standard anchors, yielding anchors have a behaviour that can be identified by performance points: A, corresponding to a first loss of stiffness, B, which identifies the maximum load, C, which marks ultimate displacement. It is conservatively assumed that A can be calculated as yielding load of the hysteretic device. In reality, A is both determined by the yielding of the device, which sometimes occurs at values higher than the minimum stated by the steel producer, and by minor cracking in the parent material; however, the combined phenomena are hardly predictable, this being the reason for choosing a lower, but controllable, threshold. Average load capacity at point B is instead 40 kN (CoV 10%). Experimental results show that yielding anchors do improve the load capacity of the connection in respect to that of a specimen strengthened by standard anchors; dissipation of energy, calculated as the area if the hysteresis loops in the load-displacement graphs, is also enhanced. However, when one looks in detail at each load-displacement curve it becomes clear how performance of the strengthening system is hindered by the fact that a very poor quality substratum might have such a low shear strength that the grouted elements of the anchorage pull out before the device can reach the post-elastic field. In general, it can be said that the devices are effective in preventing, or at least reducing the damage in the parent material and anchor assembly. Furthermore, the use of the anchoring devices offer the advantage of

	homogenising the performance of the anchors, reducing the scattering observed for strength-only anchors and allowing a better control on the strengthening system. All results are reported and discussed in the literature and WP6 of the NIKER project.
Application procedures and remarks:	As the system relies on a combination of the dissipative anchoring devices with a grouted metallic anchor encased in a fabric sleeve, the execution of the intervention is similar to that of metallic anchors and should be carried out according to the producer's specifications. In general the procedure is as follows: *Drilling* • Carefully set out the anchor position using a wax crayon or chalk, as per specifications, or as directed by the structural engineer or supervisor. • Select the drilling method specified; for heritage buildings, due to the weakness and preciousness of the parent material, dry/ wet diamond rotary drilling rather than percussive drilling is recommended. • Drill the hole to the required embedment depth. Remove all cores from the bore hole and check the depth. Remove dust and debris from the wall and clean all stains immediately. *Anchor Insertion and grouting* • Carefully unpack the anchor and check there has been no damage to the fabric sock during transit. Small tears or rips in the sock can be repaired using a needle and strong cotton or a hot melt glue stick. Do not shorten the length of the sock on the anchor. • Immediately prior to insertion completely wet the sections of anchor encased in the sleeve with clean water, and position the sock evenly along the length of the anchor. • Join the sections of the anchor, namely the standard threaded bars encased in the fabric sleeves and the dissipative device/s, which will not be embedded in grout, but will remain in the free space between one sock and the other within the borehole. • Place the anchor in the bore hole and carefully push the anchor in, lifting it over any fissures or voids, do not force or twist the anchor into the hole. • Install the anchor to within 50mm of the face of the brickwork (do not push completely in.). Ensure that the dissipative device is placed in correspondence of the existing crack that should be repaired, or in correspondence of the point of the connection where cracking is most likely to occur. • When inserting the anchor ensure that the injection tubes are towards the top of the borehole - never force or twist the anchor into the hole. • When mixing the grout, the water content can be increased by up to 10% e.g., 25 kg (56 lbs) of grout to 5.5 litres of water+ 10% = 6.05 litres. Cut mastic nozzle to fit over the injection tube. • Proceed to inflate the sleeves from the backmost towards the front. • When inflating anchor slowly rotate the anchor in the borehole to facilitate the grout flow and to ensure the anchor is centralised on completion. Maintain the pressure until all the grout milk has been expelled. Proceed in a similar fashion until all the sleeves in the assembly are fully grouted.
Improved by the simultaneous use of:	If one wants to further improve the performance level in weak substrata, grouting might be performed to the purpose of facilitating the transmission of load from the anchor to the parent material. Undercutting of the drilling hole can also be applied to achieve better pull-out capacity of the anchor assembly.
Possible mistakes in the application:	Grouting should carefully carried out to avoid presence of voids within the grouted cavity and to ensure that the grout achieves the expected load capacity.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Devices should be checked and inspected after seismic events of intensity moderate to high so as to check that the assembly has suffered no major damage and will be able to withstand future events.
Long term performance / Durability:	The use of stainless steel within a grouted cavity ensures good long-term durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	D'Ayala, D., Paganoni, S. (2012) Protocol for Testing and Design of Dissipative Anchor Devices. In print for Structures and Buildings, special issue on "Strengthening of Structures under Seismic Loading". Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010a) Experimental and Computational Validation of Dissipative Prototypes for the Seismic Protection of Heritage Buildings. In Proc. of Structural Analysis of Historic Constructions - SAHC 2010, Shanghai, China. Oct 10. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010b) Dissipative Device for the Protection of Heritage Structures: a

	Comparison of Dynamic Tests and FE Models. In Proc. of the 14th European Conference of Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia. Sept 10. Paganoni, S., D'Ayala, D., James, P. (2010) Experimental Procedure for the Validation of a Dissipative Anchor Device. In Proc. of the Structural Faults and Repair 2010, Edinburgh, UK. Jun 10. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2009). Development and Testing of Dissipative Anchor Devices for the Seismic Protection of Heritage Buildings. In Proc. ANCER Workshop 2009, Urbana-Champaign, ILL, USA, Aug 2009.
Notes:	

LATLAM	
Name:	LATLAM
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	System combining FRPs and steel reinforced grout (SRG),namely high strength steel wires forming cords embedded in a cementitious grout. The ring-beam system, called LATLAM, is obtained by overlapping several layers of bricks and laminates embedded within a polymeric matrix or a cementitious grout. By superposition of blocks and composite sheets it is possible to achieve a structural element of any size and length. The assembly acts as a single structural element and combines the compressive strength of masonry units with the good tensile properties of composite materials, avoiding the problem of the increase of mass typical of RC ring beams, yet restoring the box-like behaviour of the structure.
Limits / Applicability / Restrictions:	The installation of the system is complex, costly and time consuming as the remotion of the roof structure is required. Because of this, it is not suitable at the connection between wall and floor structures.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	The use of materials such masonry units, steel and grout ensures a good durability. Chemical and mechanical compatibility of the additional materials in respect to the original should be carefully verified.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Borri A., Castori G., Grazini A., Giannantoni A. (2007). Performance of Masonry Elements Strengthened with Steel Reinforced Grout. Fiber-reinforced polymer reinforcement for concrete structures - FRPRCS-8, Patras, Greece, 16-18 July. Borri A., Castori G., Grazini A. (2009). Retrofitting of Masonry Building with Reinforced Masonry Ring-Beam. Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 5, pp. 1892-1901.
Notes:	

Load Reduction and control	
Name:	Load Reduction and control
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Control and limit of floor deflection by reducing dead weight and/or limit allowed live loads. Beam torsion may also be controlled by symmetrical redistribution of loads.
Limits / Applicability / Restrictions:	

Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Metallic anchor with end plate and steel angle	
Name:	Metallic anchor with end plate and steel angle
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Advantages: • Minor aesthetic impact. Anchors plates are visible on the external face of the wall but are relatively small when compared to the scale of the building; • Reversibility. Tie rods and anchor plates can be removed, with minimum damage to the wall, before and after seismic action; • Appropriate design prevents failure modes related with the masonry wall, like formation of pull-out cone or crushing of masonry under the anchor plate;
Limits / Applicability / Restrictions:	Limits: • Architectural restrictions, especially on heritage buildings, can limit its application. The preservation of architectural finishes can restrict the application of the strengthening in the required position.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	EN 1996:2005: Eurocode 6 – Design of masonry structures. EN 1998:2004: Eurocode 8 – Design of Structure for Earthquake Resistance. FEMA 356 (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. ASCE,

	Washington, USA. NZSEE (2006). Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes: Recommendations of a NZSEE study group on earthquake risk buildings, New Zealand Society for Earthquake Engineering.
Referencess:	Appleton, J. Reabilitação de edifícios gaioleiros. Lisboa : Edições Orion, 2005. Cóias, V. S. Reabilitação estrutural de edifícios antigos. Lisboa : ARGUMENTUM GECoRPA: GECoRPA, 2007. Mascarenhas, J. Sistemas de Construção V - O Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina. Materiais Básicos: o Vidro - 2ª edição revista e actualizada. Lisboa : Livros Horizonte, 2005. Modelling and vulnerability of historical city centers in seismic areas: a case study in Lisbon. Ramos, Luís F. e Lourenço, Paulo B. 2004, Engineering Structures, pp. 1295–1310. Seismic evaluation of old masonry buildings. Part I: Method description and application to a case-study. Cardoso, Rafaela, Bento, Rita and Lopes, Mário. 2005, Engineering Structures, pp. 2024-2035. Seismic evaluation of old masonry buildings. Part II: Analysis of strengthening solutions for a case-study. Bento, Rita, Lopes, Mário e Cardoso, Rafaela. 2005, Engineering Structures, pp. 2014-2023.
Notes:	

Metallic connectors timber joists to wall	
Name:	Metallic connectors timber joists to wall
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	Steel plates can be added to existing timber elements to improve the connection between floor and walls: metallic profiles are bolted to the existing beams on one end and connected at the other end to the wall by bonding the element into drilled holes. Alternatively, other types of metallic elements can be used, such as angles or rods.
Limits / Applicability / Restrictions:	The connection of metallic elements to walls requires drilling and might involve the use of grout or resin for bonding.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Metallic elements should be realised in materials resistant to corrosion so as to ensure good long-term performance.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Cigni G. (1978). Il consolidamento murario: tecniche d'intervento. Edizioni Kappa (in Italian). Pisani M. A. (2009). Consolidamento delle strutture. Hoepli, Milano (in Italian).
Notes:	

Metallic diagonals	
Name:	Metallic diagonals
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims:

	• Improvement of the in-plane stiffness of the floor Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Compatibility • Durability • Reversibility/Removability • Fast and easy to perform
Limits / Applicability / Restrictions:	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal intervention. This reinforcement technique does not increase the out-of-plane bending stiffness of the floor and, given the length of the connections and the reduced thickness of metal diagonals, has the disadvantage of having to fix the reinforcements at the points of overlap with the floor's main beams.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The idea of including on the floor's intrados a horizontal bracing composed of steel ties and arranged in S. Andrea Cross is present on one of the most noticeable anti-seismic construction guides from the beginning of the century, "Masciari Genoese Costruzioni Antisismiche". This simple and rapidly applied solution consists on attaching to the floor two metal diagonals ties using screws or nails. Since the steel elastic modulus is much higher than that of wood, the tensioned metal strip will undergo negligible deformation when compared to those of wood, behaving rigidly. For this reason it is important the choice of connections, which are responsible for absorbing the forces generated by the deformation of the diagonal, and unload it on the wood causing in the typical staving plastic deformation near the connection. The increase in the number of connections is not so much a function of the stiffness increased as of an improvement of the stiffening side effects such as, ductility or energy absorption. Indeed, in terms of ductility the behaviour of a system with high hyperstaticity allows to dissipate a large amount of energy without significant loss of resistance, (Ceccotti and Vignoli, 2002).
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Metallic plates	
Name:	Metallic plates
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the bending strength and stiffness stiffness of the floor • Improvement of the in-plane stiffness of the floor Advantages: • Intervention performed under totally dry conditions which excludes the possibility of damaging existing valuable soffits (intrados) on the floors or walls with frescos • The nailed connections between the plates avoid further damage risks from fire caused by the welding process.

	• The small steel slab thickness (5 mm) allows maintaining the original floor level.
Limits / Applicability / Restrictions:	This reinforcement technique, as well as presenting higher costs than other solutions, doesn't increase the floor's bending stiffness and is ill-suited to the geometry, often irregular, of historical constructions. The weak point of this intervention it's the joining of several elements, (Giuriani & Plizzari, 2003). Moreover, this reinforcement technique is applicable almost exclusively in the case of simple geometries; the problematic related to the weight increase and to the economic factor are particularly restrictive for the execution of this type of intervention, (Borri et al., 2004).
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The technique proposed by Giuriani and Plizzari in 2003, (Giuriani & Plizzari, 2003), provides the in-plane stiffness of the floor with steel plates bolted to the existing planking. Connectors between wooden beam and steel slab are ordinary smooth steel bars simply forced, through the interposed plank, into calibrated holes drilled in the wooden beams. Studs are welded to the steel slab to provide a fixed constraint. The technique is particularly suitable for restoration since it avoids wood protection during casting, needed when a concrete slab is adopted.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards have been developed yet.
Referencess:	Johansen K. W. (1949), "Theory of timber connections", Int. Assoc. for Bridge and Struct. Engineering, 9, 249-262. Piazza M., Turrini G. (1983), "Una tecnica di recupero statico dei solai in legno"", Recuperare, 5, 6, 7, Milan, Italy. Gelfi P., Giuriani E. (1987), "Modello teorico del legame costitutivo per le connessioni a piolo", Studi e Ricerche, Vol. 9, Corso di Perfezionamento per le Costruzioni in Cemento Armato F.lli Pesenti, Politecnico di Milano, Italy. Giuriani E., Frangipane A. (1991),"Wood-to-Concrete composite section for stiffening of ancient wooden beam floors", Technical Report, Dip. Ing. Civile Univ. di Brescia; Atti, I Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Univ. Trento 1993, 307-317. Ronca P., Gelfi P., Giuriani E. (1991), "The behaviour of a Wood-Concrete Composite Beam under Cyclic and Long Term Loads", Proc., Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings II: 2nd International Conference (Stremah 91), Seville, Spain, Vol. 1, I. Brebbia, C.A., 263-275. Johnson R. P., Molenstra N. (1991), "Partial Shear Connection in Composite Beams for Buildings", Proc. Institution of Civil Engineers, Part 2, No. 91, 679-704. Capretti S., Ceccotti A. (1992), "Solai composti legno-calcestruzzo: metodo di calcolo secondo l'Eurocodice 5", L'Edilizia n. 12, 747-752,, Milan, Italy. Capretti S., Ceccotti A. Spinelli P. (1993), "Problemi aperti nello studio del comportamento di strutture composte di legno e calcestruzzo", Atti, I Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Univ. Trento, 339-348. European Committee for Standardization (CEN), (1993). "Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings" Eurocode 5, Brussel. Gelfi P., Ronca P. (1993), "Il consolidamento dei solai in legno: studio sperimentale sui connettori tra trave in legno e cappa in calcestruzzo armato", L'Edilizia, n. 5, 41-50, Milan, Italy. Gelfi P., Giuriani E. (1995), "Travi miste in legno-calcestruzzo con connettori a piolo" (in Italian), Atti, II

	Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Univ. Federico II, Napoli, 245-257. Gubana A. (1995), “Un approccio analitico per il calcolo delle deformazioni di travi miste con connessione a comportamento non lineare”, Atti, II Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Univ. Federico II, Napoli, 259-272. Gattesco N., Giuriani E. (1996), “Experimental Study on Stud Shear Connectors Subjected to Cyclic Loading”, J. Struct. Constructional Steel Res., Vol 38, n. 1.268 Patton-Mallory M., Pellicane P.J., Smith F.W. (1997) “Modeling Bolted Connections in Wood: Review”, J. Struct. Eng., ASCE, (8), 1054-1062. Gelfi P., Giuriani E., Marini, A. (1998), “Comportamento della connessione a piolo nelle travi miste in legno e calcestruzzo: modellazione teorica e confronti sperimentali”, Atti, III Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Univ. Ancona, 227-257. Gelfi P., Giuriani E., (1999a). “Behaviour of stud connectors in wood-concrete composite beams” Proc., Structural Studies, Repair and Maintenance of Historical Buildings VI: 6th International Conference (Stremah 99), Dresden, Germany,Wit Press, 565-578. Gelfi P., Giuriani E., (1999b). “Stud shear connectors in wood-concrete composite beams” Proc., 1st International RILEM Symposium on Timber Engineering, Stockholm, Sweden, 13-15 September 1999, RILEM Publications S.A.R.L., 245-254.
Notes:	

Metallic ring beam	
Name:	Metallic ring beam
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	A ring beam is a structural element built on top of the masonry structure to the purpose of: • Creating a continuous connection between the roof structure and walls to better distribute the vertical loads; • Improving the connection between orthogonal walls and the three-dimensional behaviour of structure. Steel ring beams for the connection of walls and roof structures can be built as: • A trussed frame composed by plates and angular elements joint together and anchored to the underneath masonry; • A set of plates positioned on the inner and outer surface along the top part of the masonry walls and connected by anchors embedded in the masonry and running throughout the thickness of the masonry panel. The use of metallic plates positioned atthe outer and inner surface of walls and connected by anchors running through the masonry thickness is suggested for the strengthening of the connection between walls and floor structures. In respect to other typologies of ring beams, steel beams made of plates positioned at the wall inner and outer surfaces have the advantage of not requiring the removal of the roof structure during installation, this being a considerable benefit both in terms of time and cost. When realised along the whole perimeter of the building steel beams work as a hoop, providing a containing action; however, they may required the treatment of the surfaces of walls to achieve a levelled plane and ensure homogenous contact between wall and steel profiles.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	The masonry surrounding the intervention area should be consolidated by resins or grouting so as to offer a sufficiently solid substratum for the connection between ring-beam and wall.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance	

suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Metallic strips and diagonals	
Name:	Metallic strips and diagonals
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the bending strength and stiffness of the floor • Improvement of the in-plane stiffness Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Compatibility • Durability • Reversibility/Removability • Fast and easy to perform
Limits / Applicability / Restrictions:	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal intervention.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	This intervention technique is a dry application and has a high reversibility index. It consists on placing over the deck of the existing floor, in correspondence to the beams, a steel strip with holes attached to the beams with steel pins. These are forced into holes drilled in the main beams, with a fixing length of at least seven times the diameter and are then welded to the steel plates. This technique improves the bending stiffness of the floor's beams creating a T shape composed beam with deformable connection, where the web is composed by the existing wooden beam and the flange by the steel plate. The existing planking as a great influence on the strength and stiffness of the connection but does not offer a noticeable contribution to the flexural stiffness nor to the load capacity of the floor, as so, from a static point of view it's considered only as a spacer between the wooden beam and the steel plate. To ensure horizontal diaphragm behaviour the intervention is integrated by a series of steel strips arranged diagonally and attached to an L-shaped steel element anchored to the wall through steel bars inserted into holes that have a length slightly inferior than the thickness of the wall and injected with cement mortar with compensated shrinkage. In this way, it is ensured an effective distribution of horizontal forces between the shear walls and the out-of-plane deformations of the walls placed in the orthogonal direction of the seismic action are contrasted.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	

Referencess:	
Notes:	

Oak plate inserted between wooden elements	
Name:	Oak plate inserted between wooden elements
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Orthogonal or diagonal planking	
Name:	Orthogonal or diagonal planking
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the in-plane stiffness of the floor Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Improvement of the out-of-plane (i.e. bending) stiffness and strength of the floor • Compatibility • Durability • Reversibility/Removability
Limits / Applicability / Restrictions:	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal intervention.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	This stiffening technique consists on creating on the floor's extrados a second deck rotated of 45° or 90° in relation to the existing one and connected to it using screws or nails. Generally the boards should have a thickness not inferior than 4 cm. It is also desirable the use of interlocking boards and especially well-seasoned, for a proper interface with the existing beams that can be seasoned due to years of installation or, on the contrary, impregnated with moisture. The application of reinforcement at 45° offers considerable resistance to compression, the strength of the connections such as bearing resistance, does not vary between the tension and compression state of the boards; remains the instability and equilibrium problem of the boards, which can be solved using screws that force the floor boards to remain in-plane. Where the table is tight, the behaviour is similar to that of the

	metallic diagonals with a more widespread distribution of connections. The connection of the reinforcement planking with nails in two layers, allows a doubling of the number of connections and guarantees, through the use of boards with tongue and groove joints, an increase of stiffness due to static friction between the edges of the joints.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards have been developed yet.
Referencess:	Abrams, D.P., Tena-Colunga, A. (1994). Structural evaluation of low-rise masonry buildings with flexible diaphragms subjected to earthquakes. X IB2MaC, Calgary, Canada. Almeida, C., Guedes, J., Arêde, A., Costa, A. (2010). Geometrical and Mechanical Characterization of One Leaf Stone Masonry, 8th IMC, Dresden Barbisan, U. (1997). I solai in legno e laterizio. Costruire in laterizio n°57. Barbisan, U., Laner, F. (1997) I solai in legno, Franco Angeli, Milano, Italy. Carbone, I., Fiore, A., and Pistone, G. (2001). Le costruzioni in muratura. Interpretazione del comportamento statico e tecniche di intervento. Hoepli, Milano, Italy. De Micheli, V. (1993). Vecchi solai in legno: Considerazioni di pratica professionale. L'Edilizia n° 5.
Notes:	

Perimeter horizontal cable	
Name:	Perimeter horizontal cable
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	In order to restore/improve the connection of the floor joists to earthen walls a perimeter horizontal cable can be used. This method is described by Tolles (2002) as being effective in anchoring the floor joists to the walls is the introduction of a perimeter horizontal cable to the exterior of the wall, to which floor joists are tied by means of a closed eye bolt.
Limits / Applicability / Restrictions:	The connection is based on a screw being inserted parallel to the grain, a practice which goes against usual building construction norms. In addition, coach screws longer than 250-300 mm are not necessarily found on the market, and the solution is therefore only viable for relatively thin walls or when the distance between external wall surface and joist extremity amounts to no more than 250mm (if the assumption is taken that 50mm embedment is sufficient).
Documented seismic performances:	These connections were tested within complete building model in the Getty Seismic Adobe Project (GSAP) and were reported by Tolles, despite lack of rigidity, to have prevented serious damage from occurring.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or	

Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, and William S. Ginell. Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002.
Notes:	

Plate of carbon fibres and adhesive glued to contact surfaces of both wooden beams	
Name:	Plate of carbon fibres and adhesive glued to contact surfaces of both wooden beams
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Post-installed grouted stainless steel anchoring system by Cintec International Ltd.	
Name:	Post-installed grouted stainless steel anchoring system by Cintec International Ltd.
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Local application, i.e. crack-stitching or connection of the wythes of multi-leave masonry or of arch rings: i) interconnect the masonry leaves to ensure good distribution of vertical loads, ii) prevent detachment of leaves or other element like arch bridge rings, iii) repair cracks and prevent penetration of aggressive agents, iv) stabilisation of balconies, chimneys and parapets. Global application: i) restore connection between vertical elements or vertical to horizontal elements in order to ensure the redistribution of loads depending on the stiffness of the bearing elements so as to achieve better global performance., ii) prevent formation of hinging mechanism in arch bridges, iii) in-plane reinforcement of masonry panels. Advantages: reversibility and low aesthetic impact, as anchors can be conceived in the substratum.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	**Drilling** Carefully set out the anchor position using a wax crayon or chalk, as per specifications, or as directed by the structural engineer or supervisor. Select the drilling method specified; for heritage buildings, due to the weakness and preciousness of the parent material, dry/ wet diamond rotary drilling rather than percussive drilling is recommended. Drill the hole to the required embedment depth. Remove all cores from the bore hole and check the depth. Remove dust and debris from the wall and clean all stains immediately.

	Anchor Insertion and grouting Carefully unpack the anchor and check there has been no damage to the fabric sock during transit. Small tears or rips in the sock can be repaired using a needle and strong cotton or a hot melt glue stick. Do not shorten the length of the sock on the anchor. Immediately prior to insertion wet the anchor completely with clean water, and position the sock evenly along the length of the anchor. N.B. Do not allow the sock to remain completely saturated with water for a long period as this may cause the fabric sock to shrink. Place the anchor in the bore hole and carefully push the anchor in lifting it over any fissures or voids, do not force or twist the anchor into the hole. Install the anchor to within 50mm of the face of the brickwork (do not push completely in.) When inserting the anchor ensure that the injection tube is towards the top of the borehole - never force or twist the anchor into the hole. When mixing the grout, the water content can be increased by up to 10% e.g., 25 kg (56 lbs) of grout to 5.5 litres of water+ 10% = 6.05 litres. Cut mastic nozzle to fit over the injection tube. When inflating anchor slowly rotate the anchor in the borehole to facilitate the grout flow and to ensure the anchor is centralised on completion.Maintain the pressure until all the grout milk has been expelled. **Cold Weather Grouting** The installer shall ensure that the minimum temperature of the grout at the time of injection is 7°C and the temperature of the injected grout does not fall below 5°C for a period of 24 hours from the beginning of inflation. Where these conditions are not applicable, then: - The pressure pot and delivery hose should be lagged with a suitable insulating material. - The grout, anchors and pressure pot must be stored in a container or room with a temperature of no less than 10°C. - The clean water used for mixing must be within the temperature range of 15°C-20°C (59°F-68°F). - The bore hole temperature must not be below 0°C and no ice crystals must be present on the surface of the bore hole. - A suitable shelter needs to used for the mixing process. - A screen needs to be erected around the installation area to avoid any wind chill. - After drilling the bore hole install a suitable plug to maintain a constant core temperature. - Allow the outside temperature to rise before injecting the grout, i.e. do not inflate first thing in the morning or last thing in the afternoon. - Immediately after inflation install insulation in the front of the bore hole. **Hot Weather Grouting** In very hot climates the maximum temperature of the grout at time of injection must not exceed 20°C. If this is not the case, then clean water used for mixing must be cooled to 15°C (59°F). The pressure pot and the bore hole must be shielded from direct sunlight; in extreme conditions the pressure pot must be placed in a vat of cooled water or ice.
Improved by the simultaneous use of:	Local reinforcement of the masonry by injections, grouting, etc
Possible mistakes in the application:	

Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Grout blockage can occur in the hose and control valve if left in direct sunlight or the mixed grout has not been sieved correctly. The anchor will not inflate if the sock has been ripped during installation. Remove the anchor from the bore hole and check the sock, small tears can be repaired and the anchor re-installed; if the damage is more severe remove the grout and fabric sock and wash off the anchor completely Anchors may fail to fill the voids in the wall or fail to reach surface of bore hole if any of the following conditions occur: - Grout mixture too thick due either to incorrect mixing or use of grout beyond the working time (usually between 45 minutes and 1 hour, depending on conditions). - Grout has passed its shelf life. Check date on side of bag. - Anchor installed in a larger diameter bore hole than the anchor was designed for. - Insufficient pressure in the pot. Shut off the air from the compressor and check that the pressure pot is maintaining a constant pressure. If it is dropping, check for leaks. Remember, what is shown on the gauge is not necessarily what is in the pot because the air can be passing into the pot and straight out through any leaks. - The sock has twisted during installation, preventing the grout passing the twist. Do not force or twist the anchor while inserting - Sock not distributed evenly before insertion therefore there is too much sock at the front of the bore hole preventing complete inflation. Failure to wet sock, this is very important in porous substrates and in dry/hot weather conditions.
Long term performance / Durability:	The system is very durable as stainless steel is used.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Information from the website of Cintec International Ltd: www.cintec.com
Notes:	

Post-tensioning of vertical strengthening	
Name:	Post-tensioning of vertical strengthening
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim of the application • Masonry walls, thanks to an increase in friction shear, are able to sustain stronger horizontal loads. Advantages: • Reversible, No added mass.
Limits / Applicability / Restrictions:	Appropriate tensioning needs to be defined for earthen construction. Post-tensioning for URM has been thoroughly tested, and the following limits relate to URM. - Relaxation losses to the prestressing force due to deformation in masonry have to be taken into account. - Anchorage problems in the case of pre-existing structures, especially to bottom anchoring. - Corrosion possible if steel is used.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	Global strengthening, i.e. bond beam.

Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Relaxation losses need to be checked.
Long term performance / Durability:	The literature indicates that durability depends on the material chosen: 1. Alloy steel thread bars (Schultz et al. 2003, Foti and Monaco 2000, Karantoni and Faradis 1992) 2. Mono-strand tendons (Mojsilovic and Marti 1996, Al-Manaseer and Neis 1987) 3. Fiber-reinforced plastic (Lissel and Shrive 2003)
Standards and/or Recommendations:	The codification of post-tensioning has only begun recently (see MSJC 1999: Building code requirements for masonry structures. Masonry Standard Joint Committee, U.S.) Un-grouted post-tensioning allows to simplify the grouting procedure, future surveillance, re-tensioning, or even removal of the post-tensioning bars (Schultz et al. 2003, Karantoni and Faradis 1992).
Referencess:	Al-Manaseer, A., Neis, V. (1987) Load tests on post-tensioned masonry wall panels, ACI Structural Journal, 84 (6), pp. 467-472. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. (2004) A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM, 13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam July 4th, 2004. Foti, D., and Monaco, P. (2000) Post-tensioned masonry: state of the art, Progress in Structural Engineering Material, 2, pp. 311-318. Frumento, S., Giovinazzi, S., Lagomarsino, D., Podesta´, S. (2006), Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Buildings in Italy, Proceedings of the 2006 NZSEE, Napier, New Zealand. Karantoni, F., Faradis, M. (1992) Effectiveness of seismic strengthening techniques for masonry buildings, ASCE, 118(7), pp. 1884-1902. Hamilton, H. R. McBride, J. Grill, J. (2006) Cyclic Testing of Rammed-Earth Walls Containing Post-tensioned Reinforcement, Earthquake Spectra, EERI, USA, VOL 22 (4), pp. 937-960. Ismail, N., Mahmood, H., Derakhshan, H., Clark, W., Ingham, J.M.(2009), Case study and development of seismic retrofit solution for a heritage URM building, 11th Canadian Masonry Symposium, 2009, Toronto, Ontario. Lissel, S., Shrive, N.(2003), Construction of diaphragm walls post-tensioned with carbon fiber reinforced polymer tendons, 9th NAMC, Clemson, South Carolina, USA, pp. 192-203. Mojsilovic, N., Marti, P. (1996) Load tests on post-tensioned masonry walls, IBK Nr. 0011, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland. Schultz, A., Bean, J., Stolarski, H. (2003) Resistance of slender post-tensioned masonry walls with unbounded tendons to transversal loading, 9th NAMC, South Carolina, USA, pp. 475-485.
Notes:	Local intervention unless connected to bond beam.

RAG energy absorbers	
Name:	RAG energy absorbers
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	The RAG energy absorber consists of four arms hinged at their end so as to form a square element. Hinges are made of lead cylinders press-fitted into the arms. When two (or four) of the corners of the device, which are connected to the masonry wall, displace relatively one from the other as a consequence of damage in the parent material the hinges deform plastically in torsion (in-plane action of the device) or bending (out-of-plane action of the device), thanks to the low yield strength of lead. Conversely, the arms are made of a stiffer material so as to not undergo plastic deformations. The device has been developed drawing on the observation that the more energy is absorbed through damage by the non-critical elements of the structure the later global failure occurs (Benedetti et al., 1998).
Limits / Applicability / Restrictions:	The devices have only being applied within the framework of experimental research projects. No reference to case studies is available in the literature.
Documented seismic performances:	RAG energy absorber were tested on full-scale masonry specimens on shaking table both in an in-plane configuration (Benedetti, 2004), where devices were connected at the four corners to the outer surface of a

	single masonry panel, and in an out-of-plane configuration, where the devices were used in series with a traditional metallic cross-ties to connect two parallel walls (Benedetti, 2007). The first application is, although interesting, not relevant to the strengthening of connections, as the devices act in function of in-plane and out-of-plane displacement and cracking occurring in a single panel. The second application instead offers an innovative application in respect to the standard use of cross-ties and tendons, which are normally installed below the floor structures to restore the box-like behaviour of masonry structure.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Benedetti D. (2007). La risposta fuori piano di sistemi murari: progetto e valutazione sperimentale di assorbitori di energia. Ingegneria Sismica, No. 2 (in Italian). Benedetti D. (2004). Increasing Available Ductility in Masonry Buildings via Energy Absorbers. Shaking Table Tests. European Earthquake Engineering, No. 3. Benedetti D., Carydis P., Pezzoli P. (1998). Shaking Table Tests on 24 Simple Masonry Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, No. 1, pp. 57-90.
Notes:	

Reducing the loads from extrados infilling	
Name:	Reducing the loads from extrados infilling
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Reinforced concrete cooperating slab	
Name:	Reinforced concrete cooperating slab
Type of intervention:	Local

Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the out-of-plane bending strength and stiffness of the floor • Improvement of the in-plane stiffness of the floor Advantages: • Fast and easy to perform • High in-plane and out-of-plane stiffness • Possibility of connecting the floor to the walls through RC beams • Good sound insulation characteristics • Good fire performance
Limits / Applicability / Restrictions:	The major issues concerning the implementation of interventions with reinforced concrete slabs are due to the cast of concrete. It is very difficult to prevent the contact between the deck and the still fluid concrete, the leaching through the cracks between boards and beams can ruin any valuable soffit located at the intrados of the floors. Also the weight increase of the floor, although small when compared with the complete replacement of the existent floor with a new on in concrete-tile, can affect the stability of the entire building due to possible failure of the foundations and of the walls that weren't properly consolidated. The problematic of load increase its connected not only with the inclusion of heavy materials on the structure but it's inherent in the problem of reuse of the historical structure, sometimes the change in the use, implies a considerable increase on the live loads.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Concrete–timber composite systems are composed by a reinforced concrete slab layer stressed in compression and timber ribs stressed in tension. This means that strength and stiffness of both materials are utilized to the greatest advantage. It is a well spread strengthening technique for wooden floors. It consists on the creation, over the existing deck, of a concrete slab, usually reinforced with a metallic net, and anchored to the existent floor with pins or connectors. These are fixed on the top edge of the beams, embedded in the concrete slab and connected to the metallic net. The overlap of the reinforced concrete layer changes the wooden floor structural concept, transforming it from a beam solution into a floor with a partial T section. This implies a displacement of the neutral axis to the point in which the timber beam works essentially under a tensile state of stresses (Barbisan & Laner, 1997). For this reason, the actual behaviour of these connections is intermediate between the two limit cases of rigid connection and no connection (Capretti and Ceccotti, 1992). The structural particularity of this type of section is the connection between wood and concrete, designed to transmit shear forces parallel to the structure, between the beams and slab. There's no advantage in overlaying the slab without linking it to the pre-existent structure, because the two structures would work independently, the friction caused by the roughness of the existing boards wouldn't sufficient to prevent sliding in the horizontal plane, (Tampone, 1996). However, any type of connection between these two structures can't be considered completely rigid and a slip between the two parts of the floor should be accepted. Moreover, the unsuccessful anchorage of the concrete slab to the wooden beams and to the walls, in case of a high intensity earthquake, may even be counterproductive, due to the different behaviour of the two layers and due to the increase of the floor mass. The connections are often made with rebar with improved adherence, cemented with epoxy mortar in holes drilled in the beams, the fixation length of the bars must be of at least 10ø or 2/3 of the wood height, the space between connection (step) should be between $8ø \leq i \leq 30ø$. In recent years many solutions for the connection between wood and concrete have been tested. The following solutions can be distinguished: punctiform union (connectors with steel bars for reinforced concrete, nails, pins in concrete, dry metallic pins) and continuous (metallic blade, truss beam, perforated corrugated steel sheet), (Laner, 1995). Finally it should be noted that this reinforcement technique, developed in the last 20 years, allows to significantly increase the floor's in-plane bending stiffness, however, it leads to a weight gain for the deck, resulting in increase of the seismic actions, and creating an extra thickness, sometimes incompatible with the local dimensions, such as the inter-storey height, (Gattesco et al., 2007).

	Recommendations for construction: • Use corrosion-protected fasteners (zinc-coated steel or stainless steel). • Reinforce the concrete, especially if thick concrete sections are being designed, in order to avoid loss of stiffness due to large cracks on the tension face of the concrete slab. Protect the timber from moisture when casting the concrete, i.e. by using plastic layers or concrete with additives that reduce the water/cement ratio. A lower water/cement ratio has the added benefit of reducing concrete shrinkage.
Improved by the simultaneous use of:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Possible mistakes in the application:	It is necessary that both the timber ribs and the concrete slab layer are well connected to masonry walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Time-dependent stress redistribution occurs amongst components of composite systems due to their different behaviour. This may lead not only to increased deformation, but also to very high constraining stresses. For example, concrete is very sensitive to temperature variations and timber to moisture variations. An increase in air temperature will elongate the concrete slab and shorten the timber. Although this would reduce sag, the force in connections and timber stresses would increase. The stiffer the connection the more important the effects. However, the situation may be less dramatic than it appears as no building collapse has been caused by this effect. Problems are mitigated because the action occurs over a long period of time, which means the material can relax and dissipate peak stresses. Therefore it is possible to state that these materials can work together.
Standards and/or Recommendations:	RILEM TC 111 CST. Timber–concrete composite load-bearing structures. Proceedings of the RILEM International Symposium, ACMAR-Ravenna, 27 June 1992: 1–300. A first attempt at an international level to set up a state-of-the-art summary of both theory and field experience. Eurocode 5. Design of Timber Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, pr-EN 1995-1-1. Brussels (B): CEN. 2002.
Referencess:	Ronca P, Gelfi P & Giuriani E. The behaviour of a wood–concrete composite beam under cyclic and long term loads. Proceedings of the 2nd International Conference STREMA, Seville, 14–16 May 1991: 1: 263–275. Hu LJ, Chui YH & Onysko DM. Vibration serviceability of timber floors in residential construction. Progress in Structural Engineering and Materials 2001: 3(3): 228–237. Natterer J, Hamm J & Favre PA. Composite wood–concrete floors for multi-story buildings. Proceedings of the 4th International Wood Engineering Conference, New Orleans, 28–31 October, 1996: 3: 431–443. Frangi A & Fontana M. A design model for the fire resistance of timber–concrete composite slabs. Proceedings of the IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 29–31 August, 2001: 113–118. Blasi C, Ceccotti A & Gambi A. I solai misti legno lamellare- calcestruzzo. L'Edilizia 1992: 6(2): 39–45. Mungwa MS & Jullien JF. Qualification d'un nouveau dispositif de liaison destine! aux planchers mixtes bois–be!ton. The Cameroon Engineer 1997: 6: 45–52. Pillai SU & Ramakrishnan P. Nail shear connectors in timber-concrete composites. IE (I) Journal C1 1977: 58: 34–39. Soriano J & Mascia N. Mechanical behaviour of flexible connections in the timber–concrete composite beams. Proceedings of the International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures, Stuttgart, 12–14 September, 2001: 291–300.COMPOSITE CONCRETE–TIMBER STRUCTURES 275 Richart FE & Williams CB. Tests of composite timber-concrete beams. Proceedings of the American Concrete Institute 1943: 39: 253–262. McCullough CB. Oregon tests on composite (timber–concrete) beams. Proceedings of the American Concrete Institute 1943: 39: 429–438. Pincus P. Behaviour of wood-concrete composite beams. Journal of the Structural Division (ASCE) 1970:

96(7): 2009–2019.

Bier H & Page DR. Exterior performance of radiata pine bridge components. Proceedings of the 3rd International Wood Engineering Conference, London, July 1991: 3: 251–258.

Gutkowski RM & Chen TM. Tests analysis of mixed concrete–wood beams. Proceedings of the 4th International Wood Engineering Conference, New Orleans, 28–31 October, 1996: 3: 436–442. *

Ma.kipuro R, Tommola J, Salokangas & Jutila A. Wood–concrete composite bridges. Nordic timber bridge project. Nordic Timber Council Report, Stockholm, 1996: 1–71.A rich report on tests carried out for timber–concrete technique applied to bridges. A follow-up is published in IABSE Structural Engineering International 2000: 10(4): 182–185, with particular emphasis to fatigue loading.

Rantakokko T & Salokangas L. Design of the Vihantasalmi Bridge, An interesting description of the longest timber–concrete bridge.

Pischl R & Schickhofer G. The Mur River Wooden Bridge, Austria. IABSE Structural Engineering International 1993: 3(4): 217–219. *

Giuriani E & Frangipane A. Wood-to-concrete composite section for stiffening of ancient wooden beam floors. University of Brescia Technical Report 1991; 14: 1–11.

Hoeft M. Zur Berechnung von Verbundtra.gern mit beliebig gefu.gtem Querschnitt. Doctoral Thesis 1213. EPFL/IBOIS, Lausanne: 1994. *

Timmermann K & Meierhofer UA. Holz/Beton-Verbundkonstruktionen. Bericht 115/30. Du.bendorf: EMPA. 1993. 1–87, A1–A65.

Extensive research report on a screw-based connection system. An English follow-up is published in IABSE Structural Engineering International 1993: 3(2): 104–107.

Turrini G & Piazza M. Il comportamento statico della struttura mista legno calcestruzzo, Recuperare 1983: 2(5): 224–237.

Godycki T, Pawlica J & Kleszczewski J. Verbunddecke aus Holrippen und Betonplatte. Bauingenieur 1984: 59: 477–483.

Capretti S, Ceccotti A, Del Senno M & Lauriola M. On the experimental determination of strength and deformation characteristics of timber–concrete composite joints. Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux, 17–20 August 1998: 774–775.

Mo.hlerK.U.berdasTragverhaltenvonBiegetra.gernundDrucksta.ben mit zusammengestezten Querschnitten und nachgiebigen Verbindungsmitteln. Habilitation. Technical University of Karlsruhe. 1956: I–II: 1–73.

Girhammar UA. Behaviour of timber, concrete composite load-bearing structures. Chapter 3}Theory. Proceedings of the RILEM International Symposium, ACMAR-Ravenna, 27 June 1992: 3: 1–57.

Kreutzinger H. Mechanically jointed beams and columns. STEP-Timber Engineering 1, Almere Centrum Hout: 1994: B11/1–B11/10.

Aicher S & von Roth W. Ein modifiziertes g-Verfahren fu.r das mechanische Analogon: dreischichtiger Sandwichverbund}zweiteiliger verschieblicher Verbund. Bautechnik 1987: 64(1): 21–29.

Aicher S. Bemessung biegebeanspruchter Sandwichbalken mit dem modifizierten g-Verfahren. Bautechnik 1987: 64(3): 79–86.

Zajicek VP. Holz-Beton-Verbundecken mit nachgiebigem Verbund. Osterreichische Ingenieur und Architekten-Zeitschrift, 1989: 134(2) 1989: 94–100.

* Finland. IABSE Structural Engineering International 2000: 10(4): 150–152

Fragiacomo M. Long-term behaviour of timber–concrete composite beams. Proceedings of the 3rd PhD Symposium in Civil Engineering, Vienna, 2000: 1: 525–535.

[32] Blass HJ, van der Linden M & Schlager M. Trag- und Verformungs- verhalten von Holz-Beton-

	Verbundkonstruktionen. STEP 3 14/1–14/25, Du.sseldorf: Fachverlag Holz. 1995. Kuhlmann U & Scha.nzlin J. Composite of vertically laminated timber decks and concrete. Proceedings of the IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 29–31 August 2001: 507–512. Ceccotti A & Covan C. Behaviour of timber and concrete composite load-bearing structures. Proceedings of the IUFRO Timber Engineering Group Meeting S5.02, Saint John, New Brunswick, 30 July–3 August 1990: 1–6. Bou Said E, Jullien JF & Siemers M. Non-linear analysis of local composite timber–concrete behaviour. Proceedings of the 7th World Conference on Timber Engineering, KualaLumpur, August 2002: W092: 1–8. van der Linden MLR. Timber–concrete composite floor systems. Doctoral Thesis. Technical University of Delft. 1999: I–XVII: 1–364. Piazza M & Ballerini M. Experimental and numerical results on timber–concrete composite floors with different connection systems. Proceedings of the 6th World Conference on Timber Engineering, Whistler, British Columbia, 31 July –3 August 2000: 50. Bonamini G, Ceccotti A & Uzielli L. Prove sperimentali a breve e lungo termine su elementi composti calcestruzzo}legno antico di quercia e di larice. Proceedings of the CTE Conference, Bologna, 1990: 241–251. van den Kuilen JWG. Duration of load effects in timber joints. Doctoral Thesis. Tecnhical University of Delft. 1999: I–XV: 1–277. Amadio C, Ceccotti A, Di Marco R & Fragiacomo M. Long-term behaviour of a timber–concrete connection system. Proceedings of the International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures, Stuttgart, 12–14 September 2001: 263–272. Capretti S & Ceccotti A. Service behaviour of timber-concrete composite beams: a 5-year monitoring and testing experience. Proceedings of the 4th International Wood Engineering Conference, New Orleans, 1996: 3: 443–449. Bou Said E & Jullien JF. Long-term analysis of a timber bridge structure under environmental conditions. Proceedings of the 7th World Conference on Timber Engineering, KualaLumpur, August 2002: 1–20. Very promising mechanosorptive behavioural model incorporated into ABAQUS program. Comitè Europeèn de Normalisation. Timber Structures Glued Laminated Timber Strength Classes and Determination of Characteristic values. EN 1194, Brussels:CEN.2000. Amadio C, Ceccotti A, Di Marco R & Fragiacomo M. Influence of rheological phenomena in timber–concrete composite beams. Proceedings of the IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 29–31 August 2001: 525–530. Ceccotti A. Timber–concrete composite structures. Timber Engineering, STEP 2, Centrum Hout (NL), 1995; E13/1–E13/12. A simple but complete example how to calculate according to European Code on Timber Structures. International Standards Organisation. Timber Structures}[Testing of] Joints Made with Mechanical Fasteners}General Principles for the Determination of Strength and Deformation Characteristics. ISO 6891: Geneva: ISO. 1988. Ranc G. Resistance en fatigue des dalles de be!ton arme! fissure!es des ponts mixtes. Doctoral Thesis. Ecole Nationale des Ponts et Chausse!es, Paris, 1999: 1–250. Capretti S & Ceccotti A. Time dependent analysis of timber and concrete composite structures. Proceedings of the RILEM International Symposium, ACMAR-Ravenna, 27 June 1992: 200–220.
Notes:	

Reinforced masonry ring beam	
Name:	Reinforced masonry ring beam
Type of intervention:	Global
Aim of the application	A reinforced masonry ring-beams is an element that combines good quality brickwork (generally made of

/ Advantages:	solid bricks) to steel or composite reinforcement bond together by a binder like grout. In the case of steel reinforcement, the brickwork of the ring-beam is laid leaving an internal cavity where the reinforcement bars and stirrups are positioned before casting the grout. The creation of a reinforced masonry ring beam aims to: • Provide a continuous connection between the roof structure and walls to better distribute the vertical loads; • Improve the connection between orthogonal walls so as to e nhance the three-dimensional behaviour of structure. The advantage of the technique in respect to reinforced concrete ring beams is that it maintains the characteristics of the existing types of masonry, without increasing the mass at the top of the building, as much as RC beams do. A RM beam has a good vertical deformability and therefore it spreads the vertical load to the masonry beneath. Furthermore it has a lower aesthetic impact, as the additional element can match the appearance of the existing substratum.
Limits / Applicability / Restrictions:	This system might not be suitable to many buildings due to difference in stiffness, strength and deformability in respect to the original material. The issue of how to connect the ring beam and the walls should be carefully considered. Furthermorel, the system has a complex installation process as it requires the remotion of the roof structure. The system is not suitable for connection between walls and intermediate floor structures.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	RM beams are realised by: • Building two wallets of brickwork or stonework on top of the existing wall, leaving a cavity between the two; • Placing reinforcement bars within the cavity; • Casting the concrete within the cavity, as to create a beam. Steel plate and transversal bricks connect the outer wallets.
Improved by the simultaneous use of:	In some cases, consolidation of the masonry under the ring beam by injections is needed to ensure a sufficient capacity.
Possible mistakes in the application:	Inadequate connection to the underlying parent material could be highly detrimental to the performance of the system and could lead to: slippage of the ring beam from the wall and collapse of the horizontal structure. Connections should be carefully designed and checked so that unitary behaviour is ensured between the ring beam and the orginal parent material.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	The use of materials such as masonry units, grout and steel ensures good durability of the intervention. The grout and masonry units should be chosen so as to achieve a good compatibility with the original substratum not only in terms of aesthetic appearance, but also in respect to chemical and mechanical properties.
Standards and/or Recommendations:	Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities (2006). Guidelines for Evaluation and Mitigation of Seismic Risk to Cultural Heritage.
Referencess:	Blasi C., Borri A., Di Pasquale S., Malesani P., Nigro G., Parducci A., Tampone G. (1999). Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici. Regione dell'Umbria, Gurrieri F. (editor), DEI Tipografia del Genio Civile, Rome, Italy (in Italian). Borri A., Avorio A., Cangi G. (1999). Riparazione degli Edifici in Muratura: il "Manuale" della Regione dell'Umbria. IX Convegno Nazionale Ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Torino, Italy (in Italian). Giuffrè A. (1993). Sicurezza e conservazione dei centri storici in area sismica, il caso Ortigia. Laterza, Bari (in Italian).
Notes:	

Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners

Name:	Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	reduce cracking around the openings
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Openings in masonry earthen walls must be stiffened by stiffeners along their litters with wooden elements. Vertical stiffeners shall be extended until chaining floor or roof for high seismic zones
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Reinforced repointing	
Name:	Reinforced repointing
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: This operation involves the partial replacement of the mortar joints with better quality mortar, in order to improve the masonry mechanical characteristics, and it should be applied in the case the deterioration is localized only in the mortar. The reinforced repointing technique involves the insertion of reinforcement rods or plates inside the joints, in steel or fiber reinforced polymer, on one or both sides of the wall, eventually connected in the transverse direction. This originates a further reduction of the wall dilation and of the tensile stresses in the resistant elements; it is also useful to prevent the out-of-plane deformation of the external leaves of the multi-leaves walls and to increase the ductility and the ability to dissipate energy of the structure. The described operation can increase the masonry resistance of both vertical and horizontal loads, but the best results are obtained especially in terms of deformation, which are also greatly diminished due to the confinement effect of the joints.
Limits / Applicability / Restrictions:	The execution of this technique should be as uniform as possible throughout the entire leaf object of intervention, and must proceed with continuity both vertically and horizontally. In the case of consolidation using repointing, the inability to maintain the original plaster must be taken into account, as so, this type of intervention cannot be use in the presence of fine plaster or frescos, i.e., in the case of buildings of historical and artistic importance. The technique of reinforced repoiting is not applicable when, for example, the joints are irregular, as in the case of most stone masonry structures.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Prior to the application of this intervention technique it is necessary to first accurately characterize the original mortar from a chemical, physical and mechanical point of view, in order to choose the repointing mortar most compatible with the existing one. The filling mortar cannot be excessively rigid and resistant to avoid creating areas in the masonry with inhomogeneous behaviour. To perform the intervention, first the wall should be prepared, after which the joints should be repointed and refined. First it is necessary to remove any existent plaster and scrape the joints (at least 5.0 to 7.0 cm), the scrape operation, if possible, should be done with traditional tools and not with power tools, to avoid vibration and percussion harmful to the masonry, but the manual operation has a high cost in terms of time and therefore too expensive. Much attention must be paid not only to the depth of stripping, but also to the perfect elimination of the original layer of mortar that is in contact with the resistant elements in order to allow the new mortar introduced to develop ties of adherence with the elements themselves. The repointing can be done on one side or both sides of the wall, with a maximum depth, on each side, of 1/3 of the entire

	thickness of the wall, after verification of any signs of instability of the entire wall or of single portions of it. In the case of combined interventions on both wall surfaces it is best to perform the complete repointing on one side and then begin to intervene on the other side. After the removal of impurities and waste powder of the mortar, the wall should be washed with low water pressure. After which, comes the phase of repointing with the insertion into the joints, each 30.0 to 50.0cm in the vertical direction, one or two steel or FRP reinforcement bars with a diameter of approximately 6.0mm, to increase the masonry ductility and the ability to dissipate energy. Normally are used two bars of limited diameter rather than a single larger bar, because, in ordinary masonry, the joints have dimensions between 10.0 and 15.0mm and, as so, do not allow the introduction of larger elements. The bars should be placed on a thin layer of mortar, and then be covered with hydraulic lime mortar, or with a additive or polymeric mortar, in which case, in order to ensure also a good aesthetic result, it should be included in the joint a final layer of finish, about 15.0 to 20.0mm deep, made with natural or pigmented material in order to reproduce the original appearance of the joints themselves. The final aesthetic operations are composed by scraping and cleaning of the joints, to remove the mortar smears/debris of the resistant elements.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	Attention should be given to the choice of the mortar to avoid unwanted chemical, physical and mechanical reactions: in general cement based mortars are used, as they provide higher strength, however, this type of mortars may trigger unwanted chemical reactions in the masonry. Is also crucial to perform the intervention in the depth of the masonry; it is frequent to found, in fact, a malfunction of this technique, because it wasn't well applied in depth, but limited to an aesthetic improvement of the surfaces rather than the increase of the mechanical properties. In general, the repointing is ineffective in cases where there is a poor execution of the intervention.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Reinforcement of walls by polymer nets	
Name:	Reinforcement of walls by polymer nets
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	<u>Aim:</u> 1. To increase the masonry strength and improve the shear behaviour <u>Advantages:</u> 1. Easy mounting and application 2. Simple design aesthetic treatment amplified 3. Economically advantageous
Limits / Applicability / Restrictions:	This method provides easy application to the structure. The advantage of application is also available material both quantity and price.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The brick walls were made from metric bricks and they were25 cmthick,115 cmwide and150 cmhigh. The effectiveness of nets was tested also on brick walls severely damaged during the previous cyclic tests. New as well as damaged walls were strengthened with three variants of nets.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	The main problems connected with application of polyethylene nets include the following: 1. lack of knowledge about the quality of the bricks in the existing structures 2. the presence of voids and gaps in the existing masonry structures

	Method of strengthening masonry therefore depends not only on the choice of polyethylene nets, but also a thorough survey of existing structures to be strengthened.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If applicable, the technique does not requires any particular control.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards were developed.
Referencess:	[1] Avramidou, N., Drdácký, M.F., Procházka, P.P. 1999. Strengthening against damage of brick walls by yarn composites, Proceedings of the 6th Int. Conf. On „Inspection, Appraisal, Repairs and Maintenance of Buildings and Structures“, pp. 51-58,Melbourne. [2] M. Drdácký & J. Lesák Retrofitting severely damaged masonry with high performance FRP strips and with anchored PP net reinforced rendering – a comparison. Institute of Theoretical and Applied Mechanics of theAcademyofSciencesof theCzechRepublic,Prague,Czech Republic. In (M. Humo, S. Kulukcija eds.) Proceeding ISCRASAH Symposium Mostar-09, Bosna andHerzegovina, 2009
Notes:	

RETE energy absorber	
Name:	RETE energy absorber
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Benedetti (2004, 2007) developed a spread energy absorber that could tackle the problem of localisation of damage and hence of the installation of dissipative devices within a structure, as these need to be placed in correspondence of cracking to perform effectively. The concept largely draws on the concept of metallic mesh confinement, but in this case the mesh, which is called RETE, is made of lead, so that yielding of the threads occurs at an early stage (for elongations of about 0.2 mm).
Limits / Applicability / Restrictions:	The technique was only tested in laboratory controlled environemnt. Examples of application to real case studies are missing from the technical literature.
Documented seismic performances:	A full-scale masonry specimen strengthened by RETE absorber was tested on shaking table as opposed to an unstrengthened sample and a RAG-strengthened sample (Benedetti, 2004).
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Benedetti D. (2007). La risposta fuori piano di sistemi murari: progetto e valutazione sperimentale di assorbitori di energia. Ingegneria Sismica, No. 2 (in Italian). Benedetti D. (2004). Increasing Available Ductility in Masonry Buildings via Energy Absorbers. Shaking

	Table Tests. European Earthquake Engineering, No. 3. Benedetti D., Carydis P., Pezzoli P. (1998). Shaking Table Tests on 24 Simple Masonry Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, No. 1, pp. 57-90.
Notes:	

Rotation amplifying energy absorber	
Name:	Rotation amplifying energy absorber
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	A rotation amplyfing absorber is designed to be installed at the inner corner between two perpendicular walls (Benedetti, 2007) and works thanks their relative rotation, which induces torsion in the lead pin located at the connection between the two L-shaped arms of the device. The length of the two arms is chosen so as to amplify the rotation between the two walls and control the yielding of the pin. Devices were developed by Benedetti (2007) drawing on previous experimental results (Benedetti et al., 1998) that had showed that the more energy is absorbed through damage by the non critical elements of the structure the later global failure occurs.
Limits / Applicability / Restrictions:	The rotation amplifying absorbers have only undergone characterisation as isolated devices. Further experimental data or application to case studies are missing from the technical literature.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Benedetti D. (2007). La risposta fuori piano di sistemi murari: progetto e valutazione sperimentale di assorbitori di energia. Ingegneria Sismica, No. 2 (in Italian). Benedetti D., Carydis P., Pezzoli P. (1998). Shaking Table Tests on 24 Simple Masonry Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, No. 1, pp. 57-90.
Notes:	

Scuci-Cuci	
Name:	Scuci-Cuci
Type of intervention:	Local and Global
Aim of the application / Advantages:	Aim: This intervention consists on replacing part of masonry when the instability and deterioration of this material are attributable to the resistant elements, (stone or brick), or to the mortar. The goal of this technique is to restore the structural characteristics of the original walls. With this technique it is possible to: (1) intervene individually, to compensate for a crack\lesion on the masonry or for several lesions spaced apart, or (2) to intervene in a more extensive way, in the case of cracks spread throughout the structure and located close to each others. The execution methods also differ depending if the lesion affects only one leaf of the wall, in which case the intervention should only be performed on the affected side, or if the lesion is passing affecting the structural element in all its depth. In this case, the intervention should be performed by gradually replacing the resisting elements on one side only, if it is a two-headed wall, or by acting on both sides in a coordinated manner, in the case of larger thicknesses. Scuci-cuci can also be applied to restore and improve the corner connection between walls. The technique is applicable to brickwork and adobe walls; the technique is not viable in case of earthen materials such as

	rammed earth and cob, as it would not be possible to obtain homogeneity between the original and replaced materials. In general, in the “cuci-scuci” interventions, good quality bricks and mortar are used, sometimes, if the lesion affects the arrangement between the elements but they are still in good condition, it is used directly the original material.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The intervention of substituting the masonry is composed mainly of a preliminary phase, and then of the execution phase in which the elements are replaced. Before proceeding with the substitution intervention it is necessary to analyze the resistant elements and the mortar that composes the masonry, in order to select the new elements to be introduced and, in particular, to achieve a mortar compatible with the chemical and physical characteristics of the masonry. As so, it is necessary to establish the element replacement order, by subdividing the wall in sub parts in which to work alternately, finally the unsafe structural elements or the ones that may transmit forces to the areas to be treated are supported, to block the effects due to momentary weakening of the masonry. The operation is executed by scrapping the joints and removing the stones without causing percussion or vibration; the removal of the old masonry can be done manually "pull", or, if the thickness of the wall and the loads are high, through hydraulic jacks welded to steel sections, to ensure the supporting conditions in the area to be replaced. Hand in hand with the elimination of the old elements is the introduction of the new ones, from the bottom up and trying to obtain maximum penetration and the highest possible arrangement between old and new. However, one must be careful not to generate states of coaction due to excessive contrast, even though it is possible to include any pushing elements in the presence of large vertical loads or large sections of masonry. Finally, the area between the new and old masonry is sealed, after leaving time for the new masonry to adjust/settle itself. Before removing the supports, it is advisable/necessary to check the curing process of the last reconstructed mortar joints in order to avoid the inevitable settling of the new masonry due to mortar shrinkage and to the progressive loading, which are harmful. To this end it is convenient to execute joints of small thickness, to limit the reductions in volume of the mortar itself, and gradually load the rebuilt portions of masonry allowing this way a continuous adjustment of the tensions as they it normally does during the construction of new masonry.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	This technique gives good results, provided that (1) it is respected the arrangement and that materials as similar as possible to the original ones used of and also (2) that particular care on the connection arrangement between old and new masonry is taken. This intervention technique is aimed at restoring the structural continuity of the masonry, as so, its malfunction\inefficiency is usually due to (1) poor execution, that leads to the creation of areas with higher stiffness than those adjacent to it and to (2) the lack of care on the connection arrangement between the masonry portions.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Shape Memory Alloy Devices (SMADs)	
Name:	Shape Memory Alloy Devices (SMADs)
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Shape Memory Alloys (SMAs) are metallic materials that show peculiar thermo-mechanical properties due to a reversible transformation between two crystalline configurations, austenite and martensite, without degradation of the crystal structure. The stress-strain curve shows:

	1. An almost linear portion corresponding to the elastic deformation of the material in its austenitic phase. 2. A loading plateau due to the transformation in martensite. 3. A new elastic phase that start after the complete transition to the martensitic phase (whose upper boundary is called maximum superelastic strain). 4. A final plateau, related to the true yielding of the alloy, which ends with failure. 5. Stress removal causes a reverse phase transformation, where the material goes back to the austenitic phase, stable for lower load's values. 6. Strains are almost completely recovered. This property is known as superelasticity. These characteristics make SMAs particularly suitable for the use in seismic dampers, especially considering that some alloys, such as Nitinol, have very good corrosion-resistance characteristics. SMADs can be used at the interface between orthogonal walls and between vertical and horizontal structures. For low intensity horizontal loads, they are able to restore and maintain the connection in a way similar to that of tranditional metallic connectors and cross-ties, but for higher loads they provide a ductile connection, able to accomodate relative displacements and prevent brittle failures such as pull-outs. The system is also self-centring, meaning that the devices will go back to their original configuration and won't present residual deformations.
Limits / Applicability / Restrictions:	Depending on whether the devices are used at the connection between vertical and horizontal structures or at the connection between perpendicular sets of walls, removal of the horizontal structure or drillling might be respectively required.
Documented seismic performances:	Shape Memory Alloy Devices (SMADs), which consist of metallic ties and groups of wires of SMAs, were developed within the framework of the ISTECH project (Indirli et al., 2001) and patented by Fip Industriale, Padova, Italy. Their application has featured in high profiles projects such as the repair and strengthening of the Upper Basilica of S. Francis in Assisi, San Feliciano cathedral in Foligno and San Serafino Church in Montegranaro, Italy. The abovementioned churches were affected by the 1997 Umbria-Marche earthquake, which resulted in out-of-plane damage with detachment of the front wall from the rest of the building; furthermore, in the case of S. Francis, the pounding action between tympanum and roof beams also caused the collapse of transept vault. The post-earthquake interventions, described by Indirli and Castellano (2008), and Bonci et al. (2001), aimed to restore the connection between roof and façade providing a mean to control the relative displacement and transmission of loads between the elements. SMADs were used inasmuch they allowed for a controlled displacement, avoiding the drawbacks of stiffness-based systems like punching failure due to localised stiffness and amplification of ground acceleration due to higher global stiffness. In the Upper Basilica of S. Francis 47 SMADs were used to connect the roof to the tympanum of the transept; the SMADs were connected on one end to a threaded bar attached to an anchorage plate in the façade, on the other end to a plate bolted to a counter plate embedded in the r.c. rib that was cast to stiff the existing concrete roof (dating back to the 1950s). SMADs were three-plateau self-balanced devices if three different sizes, with design capacity ranging from 17 to 52 kN and maximum allowable displacement between ±8 mm and ±25 mm. In the case of San Feliciano, 9 two-plateau self-balanced SMADs were installed between the façade and the roof. The design force for each device was 27 kN, with a maximum allowable displacement of ±20 mm. The devices were connected at each end to the clevis of tang plates by pins; one plate was welded to a new V-shaped beam attached to the existing beams of the steel roof (dating back to the 1950s), the other plate is connected to the façade by anchor roads. Similar strengthening was applied for the repair and upgrade of San Serafino and of San Pietro church in Feletto, Italy, although in this last case the SMADs had very reduced dimensions, with pea force equal to 2 or 5 kN and peak displacement of ±15 mm.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	Extremely loose or weak materials might require consolidation in order to improve the transmission of loads, although the high ductility of the system should prevent brittle failures and damage to the substratum in the majority of cases.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Depending on the alloy used in the device, SMADs can be highly resistant to corrosion and therefore ensures long-term durability.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Bonci A., Carluccio G., Castellano M.G., Croci G., Infanti S., Viskovic A. (2001). Use of Shock Transmission Units and Shape Memory Alloy Devices for the Seismic Protection of Monuments: the Case of the Upper

	Basilica of San Francesco at Assisi. Archi2000 Conference, UNESCO-ICOMOS. Indirli M., Castellano M.G. (2008). Shape Memory Alloy Device for the Structural Improvement of Masonry Heritage Structures. International Journal of Architectural Heritage, Vol. 2, pp. 93-119. Indirli M., Castellano M.G., Clemente P., Martelli A. (2001). Demo-application of Shape Memory Alloy Devices, the Rehabilitation of S. Giorgio Church Bell-Tower. VI International Symposium on Smart Structures and Materials - SPIE 2001, Newport Beach, CA, USA.
Notes:	

Shock Transmission Units (STUs)	
Name:	Shock Transmission Units (STUs)
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	STUs, or viscous dampers, consist of a hollow cylinder filled with fluid, this typically being silicone based. As the damper piston rod and piston head are activated by high-rate loading, the fluid is forced to flow through orifices either around or through the piston head. The resulting pressure differential across the piston head can produce very large forces that resist the relative motion of the damper, while input energy is dissipated in form of heat due to friction between the piston head and fluid particles flowing at high velocities. Conversely, since this type of devices is velocity-dependent, slow movements such as thermal expansions are allowed. Therefore, STUs can be successfully applied to restore connections between structural elements where relative motions during earthquake should be avoided but phenomena such as thermal expansion should be accommodated.
Limits / Applicability / Restrictions:	The procedure of installation is costly and time consuming as it requires the removal of the roof structure.
Documented seismic performances:	Some of the first cases of seismic upgrading of heritage constructions carried out by means of viscous dissipative devices include the interventions carried out in the S. Giovanni Battista Church in Carife, Italy (Mazzolani and Mandara 1994) and in the New Library of Federico II University of Naples, Italy (Mazzolani 2001).
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	Consolidation of masonry, confinement of the structure or improvement of the connections between sets of perpendicular walls might be required to ensure that in case of earthquakes horizontal loads can be withstood by the walls, especially in their top portion. Strengthening of the roof structure might also be required.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	The main drawback of this type of devices is the risk of leakage of the fluid, which involves the need for regular inspections and further costs involved with the maintenance of the dissipative system.
Long term performance / Durability:	Durability issues connected to the possibility of leakeage of liquid from the dampers. Regular inspection and maintenance is required.
Standards and/or Recommendations:	EN 1998-1:2004. Eurocode 8- Design of Structure for Earthquake Resistance.
Referencess:	Bonci A., Carluccio G., Castellano M.G., Croci G., Infanti S., Viskovic A. (2001). Use of Shock Transmission Units and Shape Memory Alloy Devices for the Seismic Protection of Monuments: the Case of the Upper Basilica of San Francesco at Assisi. Archi2000 Conference, UNESCO-ICOMOS. Mandara A., Mazzolani F.M. (2001). Energy Dissipation Devices in Seismic Up-grading of Monumental Buildings. III International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions – SAHC01, Guimarães, Portugal. Mandara A., Mazzolani F.M. (1994). Seismic Upgrading of Churches by Means of Dissipative Devices. Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA 94, London, UK.
Notes:	

Simple repointing	
Name:	Simple repointing
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim:

	This operation involves the partial replacement of the mortar joints with better quality mortar, in order to improve the masonry mechanical characteristics, and it should be applied in the case the deterioration is localized only in the mortar. The described operation can increase the masonry resistance of both vertical and horizontal loads, but the best results are obtained especially in terms of deformation, which are also greatly diminished due to the confinement effect of the joints.
Limits / Applicability / Restrictions:	In the case of consolidation using repointing, the inability to maintain the original plaster must be taken into account, as so, this type of intervention cannot be use in the presence of fine plaster or frescos, i.e., in the case of buildings of historical and artistic importance.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Prior to the application of this intervention technique it is necessary to first accurately characterize the original mortar from a chemical, physical and mechanical point of view, in order to choose the repointing mortar most compatible with the existing one. The filling mortar cannot be excessively rigid and resistant to avoid creating areas in the masonry with inhomogeneous behaviour. To perform the intervention, first the wall should be prepared, after which the joints should be repointed and refined. First it is necessary to remove any existent plaster and scrape the joints (at least 5.0 to 7.0 cm), the scrape operation, if possible, should be done with traditional tools and not with power tools, to avoid vibration and percussion harmful to the masonry, but the manual operation has a high cost in terms of time and therefore too expensive. Much attention must be paid not only to the depth of stripping, but also to the perfect elimination of the original layer of mortar that is in contact with the resistant elements in order to allow the new mortar introduced to develop ties of adherence with the elements themselves. The repointing can be done on one side or both sides of the wall, with a maximum depth, on each side, of 1/3 of the entire thickness of the wall, after verification of any signs of instability of the entire wall or of single portions of it. In the case of combined interventions on both wall surfaces it is best to perform the complete repointing on one side and then begin to intervene on the other side. After the removal of impurities and waste powder of the mortar, the wall should be washed with low water pressure. The traditional repointing basically consists on filling the joints with mortar. The operation must be careful performed in order to ensure the proper filling of the joints and, to this end, it must be done in two layers: after placing a first layer of mortar, this must be treated on the internal part of the joint to avoid formation of voids, then proceed to the application of the second repointing layer, until the total filling of the joint, taking attention to the reposition on the external surfaces of any wedges removed during the scrapping of the joints. The final aesthetic operations are composed by scraping and cleaning of the joints, to remove the mortar smears/debris of the resistant elements.
Improved by the simultaneous use of:	Often, in conjunction with the repointing operations, it is necessary to intervene on the wall also with injections or cuci-scuci operations, to increase the effect of improvement due to the solely introduction of new mortar in the joints.
Possible mistakes in the application:	Attention should be given to the choice of the mortar to avoid unwanted chemical, physical and mechanical reactions: in general cement based mortars are used, as they provide higher strength, however, this type of mortars may trigger unwanted chemical reactions in the masonry. It is also crucial to perform the intervention in the depth of the masonry; it is frequent to found, in fact, a malfunction of this technique, because it wasn't well applied in depth, but limited to an aesthetic improvement of the surfaces rather than the increase of mechanical properties. In general, the repointing is ineffective in cases where there is a poor execution of the intervention.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Steel connection elements	
Name:	Steel connection elements
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	

Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Steel flat bars (NSM)	
Name:	Steel flat bars (NSM)
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	The intervention consists of applying steel flat bars in the connections inserted with the near surface mounted technique (NSM). Cuts are opened in the elements and filled with a structural timber glue. The steel flat bars are then inserted and additional glue is added if necessary. The aim of this type of strengthening is to: • Prevent the out-of-plane opening of the connections observed in the unreinforced walls; • Increase the resistance of the wall to horizontal actions; • Improve the shear behaviour of the wall, guaranteeing a higher dissipative capacity even after failure. Advantages: • Low tech equipment and workmanship are required; • Guarantees a better shear behaviour of the wall; • Avoids opening of connections; • Ultimate capacity improvement; • Dissipative capacity improvement; • Non-invasive, potentially invisible intervention.
Limits / Applicability / Restrictions:	Limits: • Non removable intervention. Applicability: Generally applicable, unless the timber elements are too degraded, in which case they should be replaced or adequately repaired.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	When performing cuts in the timber elements to apply the steel flat bars, attention should be paid in order not to excessively reduce the cross section of the element, thus greatly reducing its resistance and possibly causing an early failure of the component material. Presence of knots or of pre-existing drying fissures should be taken into account. It is recommended perform cuts near knots of fissures, since they create a preferential failure path. If pre-existing drying fissures are significant, adequate measures should be taken, for example repairing them with the use of

	timber slips or replacing the element.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). “Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results”. University of Minho, 12-DEC/E-28.
Notes:	

Steel I Beam Replacement	
Name:	Steel I Beam Replacement
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Floor deflection reduction achieved by adding to or replacing an existing beam that is determined inadequate or insufficient. replacement may be full or partial.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Steel mesh with cement plaster	
Name:	Steel mesh with cement plaster
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Increase system ductility.
Limits / Applicability / Restrictions:	Use of cement plaster results in swelling of earthen material (Crocker 2000); reinforced mortar bands absorb most of seismic forces as they are much stiffer, resulting in elastic resistance being reached and fragile rupture.
Documented seismic performances:	Brittle behaviour.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in	

the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Affected by use of cement plaster.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Crocker, E. (2000) Earthen Architecture and Seismic Codes; Lessons From the Field, Presented at UNESCO, ICOMOS and Turkish Ministry of Culture, International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings, November 16-18 2000, Istanbul, Turkey. The Getty Conservation Institute (1990) Getty Conservation Institute. Sixth International Conference on the Conservation of Earthen Architecture – Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico, USA, October 14 to 19, 1990, edited by Kirsten Grimstad. Los Angeles, California: 1990. Torrealva, D., Vargas Neumann, J., Blondet, M. (2006) “Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Catòlica del Perú”, Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project Colloquium, The Getty Conservation Institute, 2006, pp. 3-10.
Notes:	

Steel plates	
Name:	Steel plates
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The intervention consists of applying steel plates on both sides of the wall to the connections. The steel plates are secured with screws and linked on the two sides with bolts which go from one side to the other of the wall. The steel plates can link to the main elements of the connection (vertical post and horizontal beam) the diagonal bracing elements. The aim of this type of strengthening is to: • Prevent the out-of-plane opening of the connections observed in the unreinforced walls; • Increase the resistance of the wall to horizontal actions; • Improve the shear behaviour of the wall, guaranteeing a higher dissipative capacity even after failure. Advantages: • Low tech equipment and workmanship are required; • Removable intervention; • Guarantees a better shear behaviour of the wall; • Avoids opening of connections; • Ultimate capacity of the wall is improved; • Dissipative capacity of the wall is improved.
Limits / Applicability / Restrictions:	Limits: • Ductility reduction; • Could induce out-of-plane mechanisms; • Access to both sides of the wall should be granted. Applicability: Generally applicable, unless the timber elements are too degraded, in which case they should be replaced or adequately repaired.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Presence of knots or of pre-existing drying fissures should be taken into account. Bolts should not be placed near knots of fissures, since they create a preferential failure path. If pre-existing drying fissures are significant, adequate measures should be taken, for example repairing them with the use of timber slips or replacing the element.
Improved by the	

simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Poletti E, Vasconcelos G. (2012) Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions, *8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, October 15-17, Wroclaw, Poland, 2012. Poletti, E., , Vasconcelos, G., (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28.
Notes:	

Steel plates and hidden joints	
Name:	Steel plates and hidden joints
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	<u>Aims:</u> • Evaluate the improvement this kind of reinforcement has on the behaviour of the wall in terms of ductility and load carrying capacity; • Increase stiffness of wall. <u>Advantages:</u> • Compatibility of materials; • Relatively low cost; • Non-intrusive technique; Hidden solution.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	Shear mechanism.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	ISO DIS 21581. Timber structures — Static and cyclic lateral load test method for shear walls, 2009.
Referencess:	Appleton J G, Domingos I (2009). Biografia de um Pombalino. Edições Orion. Paula R, Cóias V (2006). Rehabilitation of Lisbon's old "seismic resistant" timber framed buildings using innovative techniques. International workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures, Coimbra,

	Portugal. Parisi M A, Piazza M (2004). Seismic strengthening of traditional timber structures. XIII World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. Paper n° 909. http://www.rothoblaas.com/it/prodotti/rothofixing/catalogo.html
Notes:	

Steel plates welding	
Name:	Steel plates welding
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Torsion prevention / restriction.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Welding of top and bottom flange plates onto beams
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Steel ring beam	
Name:	Steel ring beam
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	A ring beam is a structural element built on top of the masonry structure to the purpose of: • Creating a continuous connection between the roof structure and walls to better distribute the vertical loads; • Improving the connection between orthogonal walls and the three-dimensional behaviour of structure. Steel ring beams for the connection of walls and roof structures can be built as: • A trussed frame composed by plates and angular elements joint together and anchored to the underneath masonry; • A set of plates positioned on the inner and outer surface along the top part of the masonry walls and connected by anchors embedded in the masonry and running throughout the thickness of the masonry panel.
Limits / Applicability / Restrictions:	The use of metallic plates positioned to the outer and inner surface of walls and connected one each other by anchors running through the masonry thickness is suggested for the strengthening of the connection between walls and floor structures. In respect to other typologies of ring beams, steel beams made of plates positioned at the wall inner and outer surfaces have the advantage of not requiring the removal of the roof structure during installation, this being a considerable benefitin terms of time and costs. When realised along the whole perimeter of the building beams work as a hoop, providing a containing action; however, they may required the treatment of

	the surfaces of walls to achieve a levelled plane and ensure homogenous contact between wall and steel profiles.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	The masonry surrounding the intervention area should be consolidated by resins or grouting so as to offer a sufficiently solid substratum for the connection between ring-beam and wall.
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	The type of steel should be adequately chosen and elements should be designed and protected so as to avoid any corrosion.
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Borri A., Avorio A., Cangi G. (1999). Riparazione degli Edifici in Muratura: il "Manuale" della Regione dell'Umbria. IX Convegno Nazionale Ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Torino, Italy (in Italian). Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities (2006). Guidelines for Evaluation and Mitigation of Seismic Risk to Cultural Heritage.
Notes:	

Steel rods and additional nails and bolts	
Name:	Steel rods and additional nails and bolts
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Evaluate the improvement this kind of reinforcement has on the behaviour of the wall in terms of ductility and load carrying capacity; • Increase stiffness of wall. Advantages: • Non-intrusive traditional technique; • Relatively simple application; Cost efficient solution.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	Increase of energy dissipation.
Application procedures and remarks:	3 hydraulic cylinders to apply the vertical load held in place by tie-down rods Servo-hydraulic actuator to apply the horizontal load with rods confining the top beam in order to be able to perform the cyclic test. No loading beam is foreseen for this test. LVDT sensors (16 in total + internal one of the actuator).
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	

Standards and/or Recommendations:	ISO DIS 21581. Timber structures — Static and cyclic lateral load test method for shear walls, 2009.
Referencess:	Appleton J G, Domingos I (2009). Biografia de um Pombalino. Edições Orion Paula R, Cóias V (2006). Rehabilitation of Lisbon's old "seismic resistant" timber framed buildings using innovative techniques. International workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures, Coimbra, Portugal. Cóias V. (2007). Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos. ARGUMENTUM, GECoPRA, Lisbon. http://www.rothoblaas.com/it/prodotti/rothofixing/catalogo.html
Notes:	

Stoppers/restriction braces insertion	
Name:	Stoppers/restriction braces insertion
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Control and limit of beam torsion and/or in-plane deflections by application of temporary or permanent lateral support.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Strengthening of laminated wooden joints and increase of ductility	
Name:	Strengthening of laminated wooden joints and increase of ductility
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Aim: • To increase the stiffness of wooden joints (beam to column) • To increase the dissipation capacity of joints (rafter roof level) • To design a energy dissipation connection
Limits / Applicability / Restrictions:	The limits could be the accessibility of the local intervention site.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The wooden connections may be susceptible to a brittle-type failure, due to tensile stresses across wood fibres. Fibre-based materials such as non-woven glass-fibre fabric are effective in mitigating the tensile failures and increasing the ductility of the connections.
Improved by the simultaneous use of:	Dissipative anchors.
Possible mistakes in the application:	While global performance of laminated connections shows satisfactory results, some fundamental questions associated with the performance of the composite–wood system and interface in aggressive environments,

	under elevated temperatures and long-term loading, must be answered before the composite systems can be safely used in engineering practice. For the properly selected design will have to be: • Avoid high humidity • Choose the appropriate connection • Fibers to orient properly with operating forces
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	The technique does not requires any particular control.
Long term performance / Durability:	The technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	No specific standards were developed
Referencess:	[1] Ceccotti, A. Design of timber structures in seismic regions. Holzbauwerke nach EC5, STEP 3, Fachverlag Holz, Düsseldorf, Eds. Blass, H.J., Goerlacher, R. and Steck, G., 9/1-9/29, 1995. [2] Haller, P., Chen, C. J., "Textile reinforced timber joints and structures", In: Structural Engineering International, No. 4, 1999, S. 259-261. [3] ISO. (2000) "Timber structures-joints made with mechanical fasteners – Quasi-static reversed- cyclic test method". ISO/WD 16670.3, Working Draft of ISO TC 165/SC/WG7,Geneva,Switzerland. [4] DIN 1052 T2, "Timber Structures – Mechanical joints", Beuth Verlag,Berlin,Germany, 1988. [5] Kasal B., I. Pospisil,I.Jirovsky, M. Drdacky, A. Heiduschke, P. Haller. 2004. "Seismic performance of laminated timber frames with fiber reinforced joints", Earthquake Engineering and Dynamics. John Villey & Sons Ltd.London.UK. Vol. 33. (5): 633-646. [6] DIN EN 12512. Timber Structures – Test methods – Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners. German Version EN 12512:2001, Beuth Verlag,Berlin,Germany, 2002. [7] EUROCODE 8 Design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules prEN 1998-1. December 2003 final draft, CEN,Brussels, [8] Kasal B., Heiduschke A., Pospisil S., Urushadze Sh. "Shake Table Tests of Three-Story Spatial Timber Frame with Moment Connections", in proc.WCTE 2010, world conference on timber engineering, Riva del Garda, Trentino, Italy, June 20-24, 2010
Notes:	

Supporting wall stabilization	
Name:	Supporting wall stabilization
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Stabilizing floor supports by treating the load bearing wall with grout injections, anchorage and ties and/or replacing support points with monolithic stone/stiff steel beam.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Supporting wall itself may be suffering from local shear failure due to swelling caused by beam rust or previous load distribution changing interventions.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	

Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Textile-reinforced mortar	
Name:	Textile-reinforced mortar
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Evaluate the improvement this kind of reinforcement has on the behaviour of the wall in terms of ductility and load carrying capacity; • Increase stiffness of wall. Advantages: • Compatibility of materials; • Lower cost than other types of fibers; Reinforcement can already constitute the plastering of the wall.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	Shear mechanism.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	ISO DIS 21581. Timber structures — Static and cyclic lateral load test method for shear walls, 2009.
Referencess:	Papanicolaou et al.. Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading, Materials and Structures (2007) 40: 1081-1097
Notes:	

Ties beams or Ties rods	
Name:	Ties beams or Ties rods
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	

Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Timber flange connected by bolt to main beams	
Name:	Timber flange connected by bolt to main beams
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Timber flange connected by dowels to main beams	
Name:	Timber flange connected by dowels to main beams
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the out-of-plane bending strength and stiffness of the floor Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Compatibility • Durability • Reversibility/Removability • Fast and easy to perform
Limits / Applicability /	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal

Restrictions:	intervention.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The reinforcing technique consists of placing a new plank connected by means of dowels above each beam of the existing frame (Modena et al., 1997, 1998). To facilitate execution and to ensure compatibility with existing structures and materials, in the original conception of the intervention the dowels were made of hardwood and driven into the preferably 'dry'-planks, that is, without any material to improve adhesion inside the hole. Moreover, with proper connection of main beams to load-bearing walls, and possible additional planks in the upper surface, the system can efficiently work even in seismic zones (Modena et al., 2004). A T-beam compound section, whose web (original beam) and flange (new plank) are made of wood, with deformable connections between the flange and web, is thus obtained. The existing boarding, having a thickness of 2-2.5 cm, separates web and flange. The operation is executed from the extrados of the floor, thus preserving possible valuable intradoses, and enables the instalment of systems (electrical, water, etc.) without impairing the walls at their base. The stiffening planks must be sawn before being placed on the boarding and their intrados leveled to allow perfect adhesion with the existing surface. The planks can be fixed to the existing boarding by means of screws to facilitate subsequent intervention phases and, when the floor beams are not propped, to provide adhesion between the straight planks and the permanently deflected floor beams. The screws can be placed every four to six dowels, in pre-drilled countersunk holes. The planks must be placed with the pith upward, in order to maintain the screws in tension even after wood shrinkage. Subsequently, the position where the dowels were inserted can be drawn into the plank by means of a template. Dowels positions are staggered by about half a diameter from the longitudinal beam axis, in order to increase the resistance of the system to longitudinal splitting. The pre-bored holes are about 1 mm smaller than the dowel diameter. They are cleaned with compressed air before forcing the dowels by hammering. Fig. 2 shows some work phases in an historical building (Modena et al., 2004).
Improved by the simultaneous use of:	Application of FRP at intrados of main beams. The innovative strengthening technique concerns gluing FRP strips to the floor intrados. This technique has been already proposed for simple rectangular beams (Borri e al., 2004; Gentile et al., 2002). The bond at the interface and the strengthening configuration are the main aspects that influence the mechanical behavior of the reinforced beam. A wet lay-up system is applied on the experimental beams, according to the manufacturer's recommendations. It consists of applying thin layers of adhesive (primer, epoxy resin) to guarantee proper homogeneity of the support to the fibers (Fig. 3) as done for concrete substrates, although recent researches (Cruz et al., 2004) demonstrate good gluing without application of primer. As regards possible applications to historical structures, it is worth noting that FRP application is not compatible with preservation principles, for instance, in the case of decorated intrados. The combination of the two above-mentioned techniques, i.e., the dry connection with a timber flange at the extrados and a sheet of CFRP at the intrados, may be considered for strengthening and/or repair of an earlier intervention applying one of them. This may be due to specific damage (failure of dowels, peeling of fibers) or, as an example, the influence of humidity, which can reduce bond efficiency and lead to brittle collapse. The combined system also allowed checking the appearance of new modes of failure and their possible interference. From a structural point of view, the new element behaves like an I-section, where the flanges are the new plank and the homogenized FRP strip.
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	UNI 9091 (1987). 'Wood – Determination of moisture content – Electrical method'. Italian Board for Standardization (UNI), Milan, Italy, 4 pp. (Italian translation of technical regulation ISO 4470-81) UNI-EN 26891 (1991). 'Timber structures – Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics'. Italian Board for Standardization (UNI), Milan, Italy, 8 pp. (Italian translation of technical regulation EN 26891-1991) UNI-EN 380 (1994). 'Timber methods – general principles for static load testing'. Italian Board for Standardization (UNI), Milan, Italy, 9 pp. (Italian translation of technical regulation EN 380-1993) UNI-EN 480 (1997). 'Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties'. Italian Board for Standardization (UNI), Milan, Italy, 20 pp.

	(Italian translation of technical regulation EN 480-1995) Eurocode 5 (2003). 'Final Draft prEN 1995-1-1. Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings'. European Committee for Standardization (CEN), 123 pp.
Referencess:	Aiello, M.A., & Sciolti, S.M. (2005). 'Bond analysis of masonry structures strengthened with CFRP sheets'. *Construction and Building Materials*, vol. 20, no. 1-2, pp. 90-100. ASTM C 1583-04 (2004). 'Standard test method for tensile strength of concrete surfaces and the bond strength or tensile strength of concrete repair and overlay materials by direct tension (Pull-off method)'. American Society for Testing and Materials (ASTM), 5 pp. Borri, A., Corradi, M. & Grazini, A. (2004). 'A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials'. *Journal of Composites Part B: Engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 143-153. CNR-DT200 (2004). 'Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Materials, RC and PC structures, masonry structures'. Italian National Research Council (CNR), 154 pp. CNR-DT201 (2005). 'Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni relative a Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati'. Italian National Research Council (CNR), 60 pp. (in Italian) Cruz, P., Dias, S. & Branco, J. (2004). 'Availação da aderência da ligação colada madeira-CFRP', *Cimad'04, I° Congresso Ibérico, A madeira na construção,* Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 25-26 Março 2004, pp. 469-478. (in Portuguese) Gentile, C., Svecova, D. & Rizkalla, S.H. (2002). 'Timber beams strengthened with GFRP bars: development and applications', *Journal of Composites for Construction*, vol. 6, no. 1, pp. 11-20. Giordano, G. (1999). *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milan, Italy, 850 pp. (in Italian) Modena, C., Tempesta, F. & Tempesta, P. (1997). 'Una tecnica a secco basata sull'uso del legno per l'adeguamento statico di solai in legno', *L'edilizia,* vol. 11, no. 11/12, pp. 23-32. (in Italian) Modena, C., Tempesta, F. & Tempesta, P. (1998). 'Il recupero a secco di impalcati in legno', *L'Edilizia*, vol. 12, no.3/4, pp. 38-45. (in Italian) Modena, C., Valluzzi, M.R., Garbin, E. & da Porto, F. (2004). 'A strengthening technique for timber floors using traditional materials', *4th Int. Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions,* Padova, Italy, 10-13 November 2004 , vol. 2, pp. 911-921. Modena, C. (1997). 'Criteria for cautious repair of historic building. A valuation and strengthening of existing masonry structures, *Evaluation and Strengthening of Existing Masonry Structures, Proc. of Joint Int. Workshop proposed by Rilem TC127/ MS-CIB W23*, Eds. Binda, L., Modena, C., Padova, Rilem. Möhler, K. (1956). *Über das Tragverhalten von Biegeträgem und Druckstäben mit zusammengesetztem Querschnitt und nachgiebigen Verbindungsmitteln*', Karlsruhe, Germany. (in German) Parisi, M.A. & Piazza M. (2003). 'Rehabilitation of timber structures by new materials and fasteners', *10th International Conference and Exhibition: Structural Faults + Repair 2003*, London, UK, 1-3 July 2003, 15 pp. (on CD-ROM). Piazza, M., Tomasi, R. & Modena, R. (2005). *Strutture in legno:materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, Milan, Italy, 734 pp. (in Italian) Tampone, G. (1996). *Il restauro delle strutture di legno*, Hoepli, Milan, Italy, 401 pp. (in Italian).
Notes:	

Timber flange connected by nails to main beams	
Name:	Timber flange connected by nails to main beams
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	

Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Timber flange connected by screws to main beams	
Name:	Timber flange connected by screws to main beams
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Timber panels	
Name:	Timber panels
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aims: • Improvement of the in-plane stiffness of the floor • Improvement of the out-of-plane (i.e. bending) stiffness and strength of the floor Advantages: • Light intervention: it does not introduce excessive loads and weights • Compatibility

	• Durability • Reversibility/Removability
Limits / Applicability / Restrictions:	The intervention is in general always applicable and it fully respects the basic principle of the minimal intervention.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The intervention consists in the application of timber panels (OSB, Plywood, X-lam) to the existing planking using screws or nails. The composite section is made by timber panels connected to the joists with mechanical fasteners. In old structures the planks over the joists can be left in situ and the panels can be placed on them and fastened. The flexural behaviour can be described by composite section, it depends on the fastener stiffness and it is intermediate between the two ideal limit conditions of zero stiffness, which means free slip between the beam and the panel, and infinite stiffness, which means no slip at all and the validity of the principle of plane section conservation after bending. Generally the boards should have a thickness between 5 and 10 cm.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	It should be paid particular attention to the connections with the perimeter walls.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	If the intervention is performed following the correct procedure neither maintenance interventions nor periodic controls are necessary.
Long term performance / Durability:	If applicable, the technique should have long durability.
Standards and/or Recommendations:	EN 1194:1999.Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of some mechanical and physical properties. EN 408:2004.Timber structures. Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. EN 789:2005. Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood based panels.
Referencess:	Piazza M., Turrini G. Una tecnica di recupero dei solai in legno. Recuperare 5,6,7, 1983. Giuriani E., Frangipane A. Wood-to-Concrete Composite Section for Stiffening of Ancient Wooden Beam Floors. In: I Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Trento, 1993. Gubana A. An Analytical Approach to Design non linear Behaviour Connections of Composite Sections. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments 9(3), 2003. Giuriani E., Plizzari G. Studio sperimentale sul comportamento dei solai in legno rinforzati con lastre in acciaio per resistere alle azioni sismiche. In: V Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Palermo, 2000. Modena C., Tempesta P., Tempesta F. Il recupero a secco di impalcati in legno .Una tecnica per solai a semplice e doppia orditura. L'edilizia 3/4., 1998. Piazza M. Restoration of timber floors via a composite timber-timber solution. Proceedings of the Technical Workshop RILEM "Timber: a structural material from the past to the future", Trento, 1994. Ceccotti A., Lauriola M.P., Pinna M., Sandhaas C. SOFIE Project – Cyclic Tests on Cross – Laminated Wooden Panels. In WCTE 2006 - 9th International Conference on Timber Engineering, Portland, USA , 2006. Guggenberger W., Moosbrugger T. Mechanics of Cross Laminated Timber Plates under Uniaxial Bending. In WCTE 2006 - 9th International Conference on Timber Engineering, Portland, USA, 2006. Moosbrugger T., Guggenberger W., Bogensperger T. Cross Laminated Timber Wall Segments under homogeneous Shear – with and without openings. In WCTE 2006 - 9th International Conference on Timber Engineering, Portland, USA, 2006. Gubana A. Cross Laminated Timber Panels To Strengthen Wood Floors. In SAHC08 Structural Analysis of Historic Construction, Bath, UK: 949- 955, 2008.

	Gubana A. Prove sperimentali sul comportamento delle sezioni composte legno-XLam. In VII Workshop Italiano sulle Strutture Composte, Benevento 2008, 2009. Piazza, M., Tomasi, R., Modena, R. 2005. Strutture in legno, Hoepli Editore, Milano.
Notes:	

Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue	
Name:	Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	18-26 mm diameter bars, 4 to 8 bars per column.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	Connection of drums/parts originally belonging to different columns is to be avoided.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Transversal ties	
Name:	Transversal ties
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Aim: The technique of inserting metal ties inside the walls has as main purposes to limit the deformation of the walls and to improve the shear behaviour of the same. Advantages: 1. High velocity of execution; 2. Low cost of execution; 3. Good performance; 4. Removable intervention, in the case that a better consolidation solution is found.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	The steel ties are placed on the perpendicularly direction to the masonry. The holes to insert the ties (diameters ranging from 4.0 to 8.0mm) are done with a rotating probe at the mortar joints. The ties consist on simple steel bars with improved adherence or treated bars with a bolted head. Eventually it is possible to insert the bars by hammering, taking advantage of the lesions present in the walls. When using simple steel bars, they are fixed to the masonry by bending or injection, in this case the action of consolidation is noticeable only when the deformation of the wall undergoes an increase, in consequence

	of which the steel bar is loaded. When using threaded bars, upon the insertion moment, a warming of the bar and a slight tightening can be performed, this way the contraction that occurs due to the cooling process immediately puts tension on the bar, which immediately exercises an anti expulsive action on the wall leaves. To exercise these contrast actions to the masonry transverse deformation, the tie rods can be placed not only normal to the faces of the wall itself, but also along the diagonals. It should be inserted 4 ties per square meter, or at least it should not be less than 2 per square meter.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	In particular environments protection of the bars against the corrosive action of external agents has to be ensured.
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls)	
Name:	Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls)
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Not required for thick walls (h/t
Limits / Applicability / Restrictions:	Different materials can be used Inner rods: Steel rods (covered in PVC or polythene, as per NZS 4299) or fibreglass rods (see Jäger 2010, Tolles 2000). Bond between anchor and earthen material is tricky. Grouts can be epoxy (Tolles et al. 2000), fly-ash earth (Roselund 1990) or earthen grouts (Jäger 2010). The technique is non-reversible and causes loss of historic fabric. Another disadvantage is the fact that this technique creates zones with widely varying stiffness and strength properties (ElGawadi et al. 2004). External straps: polypropylene straps (Tolles et al., 2000) The latter is reversible.
Documented seismic performances:	Pio Pico Adobe, California, (Tolles et al. 1996). Shake table testing, Tolles et al. 2000.
Application procedures and remarks:	If core-drilling is allowed, walls are cored at regular intervals (Jäger and Fuchs recommend 1m). Core diameter varies according to author. Jäger and Fuchs: 10cm bores for 8mm glass fibre rods. The drilling is a dry process where dust is kept to a minimum by a vacuum and filter system. Strapping: passing over wall, at bottom of wall (complex). Whether a design where the vertical reinforcement reaches the foundations is more appropriate than one where the vertical reinforcement stops before ground level is reached is not known. In Jäger and Fuchs (2010), strapping reaches -1.5m below ground level and the bond beam above the walls. Tolles et al. (2000), for 1:5 model, used 3mm fibreglass rods grouted in epoxy. Despite effectiveness after shake-table testing, long-term durability due to use of epoxy is unknown. Rods were not connected to concrete base. This is a difference between this procedure and the procedure adopted by Jäger 2010.
Improved by the simultaneous use of:	Bond beam (to which it should be connected).
Possible mistakes in the application:	Centre-core drilling-induced damage.
Maintenance	Durability between grouts and earthen material.

suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	Fibreglass rods do not corrode (advantage in comparison with steel reinforcement). Durability is therefore affected by compatibility between grout and earthen material.
Standards and/or Recommendations:	NZS 4297-4299: 1998, New Zealand Standards for Earth Building.
Referencess:	ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. (2004), A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM, 13th International Brick and Block Masonry Conference, 4th July 2004, Amsterdam, Holland Jäger, W.; Fuchs, C. (2010) Reconstruction of the Sistani House at Bam Citadel after the collapse due to the earthquake 2003. In: Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction: Bath 2008, pp. 1181–1187. Roselund, N. (1990) “Repair of cracked walls by injection of modified mud”, 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints: Las Cruces, New Mexico, U.S.A., October 14-19, 1990, ed. Kirsten Grimstad, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 336-41. Tolles, E. L., Webster, F.A., Crosby, A., Kimbro, E.E. (1996) Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake”, The Getty Conservation Institute, 1996. Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. (2000) Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute. http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/seismicstabilization.pdf. Villa García G, Ginocchio F, Tumialán G, Nanni A. “Reinforcing of Adobe Structures with FRP Bars”. Accepted for presentation at the First International Conference on Innovative Materials and Technologies for Construction and Restoration, Lecce, Italy, 2004.Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph N° 23, 2002.
Notes:	Locan intervention unless connected to bond beam.

Vertical core stainless steel rod	
Name:	Vertical core stainless steel rod
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Reestablishing connection between drums/broken parts and strengthening connection to foundation.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Center core 5-10 cm in diameter. Rod may be connected to existing foundation or new cast concrete foundation/pile.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	Connection of drums/parts originally belonging to different columns is to be avoided.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Vertical prestressing	
Name:	Vertical prestressing
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Viscous dampers	
Name:	Viscous dampers
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Dampers can be used in series with metallic steel ties in order to provide a ductile connection in case of low-rate loading (such as thermal expansion) and ensure a stiff connection with energy-dissipation capacity in case of an earthquake.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	The retrofitting scheme proposed by Tolles et al. (2002) to improve the seismic performance of the Las Cruces Adobe consists of a light steel frame and a series of viscous dampers at roof level. The effectiveness of this system, a rare example of viscous dampers being applied to earthen structures, is not supported by experimental evidence.
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, and William S. Ginell. Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002.
Notes:	

Void filling	
Name:	Void filling

Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	Re-establish arch action by filling voids between bricks and steel beam. Re-establish arch action by filling voids between bricks with mortar and rubble. Re-establish arch action by filling brick cracks or voids with mortar and rubble.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Wall plates	
Name:	Wall plates
Type of intervention:	Global
Aim of the application / Advantages:	To the purpose of restoring/improving the connection between roof and earthen walls, modern earth building codes (NZS 1998, ASTM E2392) specify the use of stiff wall plates consisting of one timber element fixed to the top of walls by means of steel or fibreglass dowel rods inserted through the plate and either driven into or grouted into the wall. According to the literature, the bond between rods/dowels and earthen walls can be achieved by means of: • cement based grouts (NZS 1998) • epoxy grouts (Tolles et al. 2000) • soil based grouts with fibres (Jäger and Fuchs 2010) Research on the effectiveness of such connections and on the comparative performance of steel and fibreglass rods depending on the type and presence of grout is lacking.
Limits / Applicability / Restrictions:	The introduction of timber plates in existing buildings is not always viable, as this requires the roof and/or historic material to be removed before the wall plate is inserted. Because the connection element between the rood and the walls are much stiffer than the substratum, it should be carefully check that they do not shear off under the design seismic action.
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and	

periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	ASTM E2392/E2392M – 10. Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, corrected editorially in May 2010. NZS (1998) Standards New Zealand, 1998, NZS 4297, Engineering Design of Earth Buildings. NZS (1998) Standards New Zealand, 1998, NZS 4298, Materials and Workmanship for Earth Buildings. NZS (1998) Standards New Zealand, 1998, NZS 4299, EarthBuildings not Requiring Specific Design.
Referencess:	
Notes:	Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2000.

Wall-floor connection: through-ties/cross-ties	
Name:	Wall-floor connection: through-ties/cross-ties
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	The use of through-wall ties, rods or cables connected on the inner side of the wall to the floor, and on the outer side of the wall to “containment perimeter” beams or nylon straps avoids the formation of tensile stresses in the earthen material.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	Pio Pico Adobe was repaired in 1991 and subjected to 1994 Northridge Earthquake. Anchoring by means of steel flat straps introduced diagonally and fixed by means of lime-fly ash grout was insufficient to prevent offset between roof and wall since the grout plugs pulled out of the wall (Tolles et al. 1996).
Application procedures and remarks:	
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	Load distribution should account for limited stress capacity typical of earth materials.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	Tolles, E. L., Webster, F.A., Crosby, A., Kimbro, E.E. (1996) Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January Northridge Earthquake”, The Getty Conservation Institute, 1996. Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, and William S. Ginell. (2000) Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures: Final Report of the Getty Seismic Adobe Project. GCI Scientific Program Reports. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
Notes:	

Water sealing	
Name:	Water sealing
Type of intervention:	Not specified
Aim of the application / Advantages:	Prevention of continued water and moist penetration thus protecting steel beam from further rust damage.
Limits / Applicability /	

Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	When rust damage is detected at supports, procedure should include sealing of the outer wall.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Wooden horizontal chaining	
Name:	Wooden horizontal chaining
Type of intervention:	Local
Aim of the application / Advantages:	improving the shear strength of the wall
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	
Application procedures and remarks:	Reinforced system can be either horizontal planks or wooden poles placed horizontally in the wall every four beds brick or adobe or cob tour at each joint banchee. These elements must be properly restrained them along the walls and junctions between walls and buttresses.
Improved by the simultaneous use of:	
Possible mistakes in the application:	
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	
Long term performance / Durability:	
Standards and/or Recommendations:	
Referencess:	
Notes:	

Yielding anchoring device	
Name:	Yielding anchoring device
Type of intervention:	
Aim of the application / Advantages:	Same as traditional grouted anchor, i.e. restore connection between orthogonal walls and ensure box-like behaviour of building. Additionally the devices provide the anchor with extra ductility, thus avoiding brittle failure such as pull-out and punching.
Limits / Applicability / Restrictions:	
Documented seismic performances:	See references.
Application procedures and	The device is connected to a standard anchor and installed so that the yielding element is located in correspondence of an existing crack and in a position where cracking is likely to occur due to poor quality of

remarks:	connection or general wear and tear.
Improved by the simultaneous use of:	Grouting, in case the parent material is too loose or weak to redistribute effectively the stresses transmitted by the anchorage.
Possible mistakes in the application:	Dimensioning should be carefully carried out to ensure that the ultimate capacity of the anchor is not reached until the limit state of Near Collapse.
Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring:	Devices should be checked after seismic events to ensure no damage has occurred. Sensors can be fitted on the device and used for continuos monitoring.
Long term performance / Durability:	N/A
Standards and/or Recommendations:	None existing. Testing of devices can be carried out drawing on "EN 15129:2009: Anti-seismic devices". Design of devices must be carried out according to "BS EN 1998:2004: Eurocode 8 - Design of Structure for Earthquake Resistance".
Referencess:	D'Ayala, D., Paganoni, S. (2011) Performance Based Earthquake Damage Assessment & Development of Dissipative Retrofit Devices for Masonry Buildings. Newsletter of the Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics, Vol. 23(1):1-15. June 11. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010) Experimental and Computational Validation of Dissipative Prototypes for the Seismic Protection of Heritage Buildings. Advanced Materials Research, 133-134:831-836. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2010) Dissipative Device for the Protection of Heritage Structures: a Comparison of Dynamic Tests and FE Models. In Proc. of the 14th European Conference of Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia. Sept 10. Paganoni, S., D'Ayala, D., James, P. (2010) Experimental Procedure for the Validation of a Dissipative Anchor Device. In Proc. of the Structural Faults and Repair 2010, Edinburgh, UK. Jun 10. "Cintec International's Dissipative Anchor Device for the Seismic Protection of Masonry Heritage Buildings". News on Construction Research and Innovation Journal, Chartered Institute for Building. March 10. Paganoni, S., D'Ayala, D. (2009) Development and Testing of Dissipative Anchor Devices for the Seismic Protection of Heritage Buildings. In Proc. ANCER Workshop 2009, Urbana-Champaign, Illinois, USA. Aug 09.
Notes:	

ALLEGATO 6 IL CATALOGO DELLE PUBBLICAZIONI

PUBLICATIONS
Poletti, E., Vasconcelos, G., Oliveira, D.V. (2013). "Influence of infill on the cyclic behaviour of traditional half-timbered walls". *International Conference on Rehabilitation and Restoration of Structures, Chennai, India*. In English. (ON SITE TESTS)
Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". *Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage*. In German. (LAB TESTS)
Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". *Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin*, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". *Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012)*. In English. (LAB TESTS)
Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012). "A New Grouting Material for the Repair of Cracks in Earthen Structures". *Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage*. In English. (LAB TESTS)
Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012). "Overview of Different Strengthening Techniques Applied on Walls Used in Historical Structures". *Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012)*. In English. (LAB TESTS)
Wünsche, M., Pospíšil, S., Hračov, S., Urushadze, S. (2012). "Cyclic loading of masonry walls and its anti seismic strengthening". *Engineering Mechanics 2012*. In English. (LAB TESTS)
(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012b). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012c). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface + 8 Basalt spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012d). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extradoss SRP width 220 mm (2 strips x 110 mm, with 94 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012e). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extradoss CFRP width 240 mm (2 strips x 120 mm) + 4 Basalt spikes. In English. (ON SITE TESTS)
Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". *15th International Brick and Block Masonry Conference*. In English. (LAB TESTS)
Tohidi, M. (2012). "Experimental Mechanical Characterization of Historical Mortars by Windsor Pin Penetrometer". *MS Thesis, Technical University of Catalonia*. In English. (ON SITE TESTS)
Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". *Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei*. In English. (LAB TESTS)
Mohammed Adil, E.A. (2012). "Seismic vulnerability of traditional buildings in the Medina of Fez". . In English. (LAB TESTS)
Giuriani, E. (2012). "Trattato di Restauro Architettonico - Consolidamento degli edifici storici". . In Italian. (ON SITE TESTS)
Cangi, G. (2012). "Manuale del recupero strutturale e antisismico". . In Italian. (LAB TESTS)
(2012f). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012g). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". *University of Padova*. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012o). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012p). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012q). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012r). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)

(2012s). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012t). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)

(2012u). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012v). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012w). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012x). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012y). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012z). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012aa). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012ab). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012ac). “Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *University of Padova*. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

(2012). “Experimental Result on Structural Connections”. *University of Bath - Internal report*. In English. (LAB TESTS)

D'ayala, D., Paganoni, S. (2012). “Protocol for Testing and Design of Dissipative Anchor Devices”. *Structures and Buildings*, Special issue on "Strengthening of structures under seismic loads". In English. (LAB TESTS)

Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). “Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections”. *15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon*. In English. (ON SITE TESTS)

Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F. (2012). “Ensaios realizados nas ancoragens dúcteis”. *University of Minho*. In Portuguese. (LAB TESTS)

Moreira, S., Ramos, L.F., Oliveira, D.V., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). “). Experimental seismic behavior of wall-to-half-timbered wall connections”. *Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012)*. In English. (LAB TESTS)

Moreira, S., Ramos, L.F., Oliveira, D.V., Mateus, L., Lourenço, P.B., Pinto, J. (2012). “COMPORTAMENTO EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES ESTRUTURAIS MADEIRA-ALVENARIA”. *Congresso Construção, 2012, Coimbra*. In Portuguese. (LAB TESTS)

Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F. (2012). “Tests on strengthened wall-to-timber frame connections”. *University of Minho*. In English. (LAB TESTS)

Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). “Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions”. *Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012)*. In English. (LAB TESTS)

Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). “Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results”. *University of Minho*, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

(2012). “Experimental Result on Structural Connections (NIKER Deliverable 6.4)”. *NIKER Results Deliverable*, 6.4, 25-34. In English. (ON SITE TESTS)

Garofano, A. (2011). “Structural Behaviour of Masonry Walls Strengthened with Mortar Layers Reinforced with FRP”. *Czech Technical University in Prague*. In English. (ON SITE TESTS)

(2011). “Technical report with the experimental results on vertical elements”. *Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.*. In English. (ON SITE TESTS)

(2011). “Technical report: Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults”. *Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.*. In English. (LAB TESTS)

Cantini, L. (2011). “Assessment oh historical masonry buildings: research on appropriate non-destructive diagnostic techniques”. *Politecnico di milano - Architecture, Urban design, Conservation of housing and landscape*. In English. (LAB TESTS)

Mazzon, N. (2010). “Influence of grout injection on the dynamic behaviour of stone masonry buildings”. *Ph.D. thesis, Università degli Studi di Padova*. In English. (LAB TESTS)

Röhlen, U., Ziegert, C. (2010). “Lehmbau-Praxis”. *Bauwerk-Verlag, Berlin*. In German. (LAB TESTS)

(2010). “Lehmsteine und Lehmmauermoertel”. *http://www.claytec.de/produkte/baustoffe/lehmsteine-und-lehmmauermoertel.html*. In German. (LAB TESTS)

(2010). “Brzdové obložení 6800”. *http://www.sittech.cz/brzdove/6800.htm*. In Czech. (ON SITE TESTS)

(2010). “Experimental Result on Structural Connections”. *Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.*. In English. (LAB TESTS)

Garmendia, L.A. (2010a). “Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system”. *University of Bilbao*. Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)

Garmendia, L.A. (2010b). “Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system”. *University of Bilbao*. Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)

Garmendia, L.A. (2010c). “Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system”. *University of Bilbao*. Extrados + Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)

Quagliarini, E., Lenci, S. (2010july). “The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks”. *Journal of Cultural Heritage*, 11, 309-314. In English. (LAB TESTS)

Schroeder, H. (2010). “Lehmbau”. *Vieweg + Teubner, Wiesbaden*, 409 pp. . In German. (LAB TESTS)

Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). “Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni”. *Technical report, Università degli Studi di Pavia*, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)

Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009). “Research on the use of mud-based grouts in the repair of structural cracks in adobe walls”. *Mediterra 2009*. In English. (LAB TESTS)

Pelà, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). “Seismic assessment of masonry arch bridges”. *Engineering Structures*, 31, 1777-1788. In English. (LAB TESTS)

, (2009september). “Tensile strength of earth mortars and its influence on earth masonry behavior”. *11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK*. In English. (ON SITE TESTS)

Bui, Q.B., Morel, J.C. (2009september). “Assessing the anisotropy of Rammed Earth”. *11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK*. In English. (LAB TESTS)

Torrealva, D. (2009). “Diseno sismico de muros de adobe renforzados con geomallas”. *Conservas del Patrimonio Arquitectonico, Pisco, Peru*, 25pp. In Spanish. (LAB TESTS)

Azeredo, G., Morel, J.C. (2009). “Tensile Strength of earth mortars and its influence on earth masonry behaviour”. *11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK*. In English. (LAB TESTS)

Pisani, M.A. (2009). “Consolidamento delle strutture”. . In English. (LAB TESTS)

Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). “Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing”. *Construction and Building Materials*, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)

Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008). “Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts”. *Engineering Structures*, 30(8), 2265–2276. Seismic reliability, analysis, and protection of historic buildings and heritage sites. In English. (LAB TESTS)

Sathiparan, N., Paola, M., Meguro, K. (2008). “Parametric Study on Diagonal Shear and Out-of-plane Behaviour of Masonry Wallettes Retrofitted by PP-band Mesh”. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. In English. (LAB TESTS)

Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008). “Shear and out of plane bending strength of adobe walls externally reinforced with polypropylene grids”. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. In English. (LAB TESTS)

(2008). “Handbook 1,2: Design of Timber Structures according to EC5”. *Leonardo da Vinci Pilot Project (CZ/06/B/F/PP/168007)*. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 25 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 12,5 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 25 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 12,5 mm. In English. (LAB TESTS)

Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g). “Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces”. *Materials and Structures*, 41, 1291-1306. Locally CFRP. In English. (LAB TESTS)

Focacci, F. (2008). “Rinforzo delle murature con materiali compositi”. . In Italian. (LAB TESTS)

Ng, P.Y. (2008). “SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.”. *Master Dissertation - University of Bath*. In English. (LAB TESTS)

Vintzileou, E. (2008a). “Effect of timber ties on the behavior of historic masonry”. *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Vintzileou, E. (2008b). “Effect of timber ties on the behavior of historic masonry”. *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Vintzileou, E. (2008c). “Effect of timber ties on the behavior of historic masonry”. *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

(2007). “Posudek účinku nově zavěšeného zvonu na dynamické chování věží kapitulního chrámu sv. Petra a Pavla v Praze – Vyšehradě”. *Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i.*. In Czech. (LAB TESTS)

(2007). “Výztužné tkaniny Carbonpree”. *http://www.minova.cz/file/591*. In Czech. (ON SITE TESTS)

Basilio, I. (2007a). “Strengthening of arched masonry structures with composite materials”. *University of Minho*. Extrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). In English. (LAB TESTS)

Basilio, I. (2007b). “Strengthening of arched masonry structures with composite materials”. *University of Minho*. Extrados GFRP width 160 mm (2 strips x 80 mm). In English. (LAB TESTS)

Basilio, I. (2007c). “Strengthening of arched masonry structures with composite materials”. *University of Minho*. Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). In English. (LAB TESTS)

Basilio, I. (2007d). “Strengthening of arched masonry structures with composite materials”. *University of Minho*. Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm) + Spikes. In English. (LAB TESTS)

Basilio, I. (2007e). “Strengthening of arched masonry structures with composite materials”. *University of Minho*. Locally GFRP width 160 mm (2 strips x850 mm). In English. (LAB TESTS)

Bui, Q.B., Hans, S., Morel, J.C. (2007august). “The compressive strength and pseudo-elastic modulus of rammed earth”. *International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India*, 217-223. In English. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti”. *Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation*. In Italian. (LAB TESTS)

Vidovszky, I. (2007). “Investigations of 18-19th Century Manually Forged Iron Elements of Building Structures”. *Ph.D. thesis, Budapest University of Technology and Economics*. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). “Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques”. *Journal of building appraisal*, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). “Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques”. *Journal of building appraisal*, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c). “Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques”. *Journal of building appraisal*, 3, 125-143. Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.. In English. (LAB TESTS)

Oliveira, D.V., Lourenço, P.B., Roca, P. (2006). “Cyclic behaviour of stone and brick masonry under uniaxial compressive loading”. *Materials and Structures*, 39(2), 247–257. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Pina-Henriques, J., Anzani, A., Fontana, A., Lourenço, P.B. (2006). “A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modelling”. *Engineering Structures*, 28(8), 1132–1148. In English. (LAB TESTS)

Aiello, M.A., Sciolti, S.M. (2006). “Bond analysis of masonry structures strengthened with CFRP sheets.”. *Construction and Building Materials*, 90-100. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006a). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Extrados CFRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006b). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Extrados SRG width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006c). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Extrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006d). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Extrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006e). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Intrados CFRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006f). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Intrados SRG width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006g). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Intrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006h). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Intrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Castori, G. (2006i). “Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates”. *University of Perugia*. Extrados SRG width 150 mm + Intrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

Gasparini, J. (2006). “Erdbebensicherheit von Lehmsteinbauten untersucht für den Standort Oaxaca, Mexiko”. *TU Berlin*. In German. (LAB TESTS)

Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). “Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)”. *Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006*, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)

Vargas, J., Blondet, M., Tarque, N. (2006). “Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006, Colloquium”. *The Getty Conservation Institute*, 45-51. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006a). “An intrados technique for flexural strengthening of timber floors”. *9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006*. Cross beam, from the intrados of the existing structure. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006b). “An intrados technique for flexural strengthening of timber floors”. *9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006*. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with nails. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006c). “An intrados technique for flexural strengthening of timber floors”. *9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006*. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and nails. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006d). “An intrados technique for flexural strengthening of timber floors”. *9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006*. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and screws. In English. (LAB TESTS)

Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Masini, N., Racina, V., Nuzzo, L., Rizzo, E., Binda, L., Cantini, L. (2006). “The façade and the rose-window of Troia Cathedral (Apulia, Italy)”. *Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006*, 1997-2004. In English. (ON SITE TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). “Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens”. *7th International Masonry Conference*. In English. (LAB TESTS)

Elgawady, M.A., Lestuzzi, P., Badoux, M. (2005). “In-plane response of URM walls upgraded with FRP.”. *Journal of Composites for Construction*, 524-535. In English. (LAB TESTS)

(2005). “Ensayo a compresión uniaxial de testigos tomados de muestras de piedra de la fachada mayor de la Catedral de Barcelona”. . In Spanish. (LAB TESTS)

(2005). “BS 5628-2 Code of Practice for the Use of Masonry. Part 2: Structural use of reinforced and prestressed masonry”. *British Standard*. In English. (LAB TESTS)

(2005). “BS EN 1996-1-1: 2005 Eurocode 6 -Design of Masonry Structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures”. *European Norm*. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2004). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Castello di Avio”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In Italian. (LAB TESTS)

Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. (2003). “Experimental study on the determination of strength of masonry walls”. *Construction and Building Materials*, 17(5), 325–337. In English. (LAB TESTS)

Villa Garcia, G., Brzev, S., Blondet, M. (2003). “Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial”. *http://www.world-housing.net*. In English. (ON SITE TESTS)

Ziegert, C. (2003). “Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung”. *Fraunhofer IRB Verlag*, 340. In German. (LAB TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Montesanto”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In Italian. (LAB TESTS)

Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). “Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau”. *Fraunhofer IRB Verlag*, 21-29. In German. (LAB TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Pisece Castle (Slovenia)”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In Italian. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). “Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research”. *3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). “Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research”. *3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). “Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research”. *3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a). “Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.”. *Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). “Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.”. *Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation*. In Italian. (LAB TESTS)

Toumbakari, E.E. (2002). “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”. *Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven*. In English. (LAB TESTS)

(2002). “Posudek účinku nově zavěšeného zvonu na dynamické chování věží kapitulního chrámu sv. Petra a Pavla v Praze-Vyšehradě”. *Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i.*. In Czech. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2002). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Castelluccio di Norcia (PG)”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In English. (LAB TESTS)

Toumbakari, E.E. (2002a). “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”. *Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven*, 364. In English. (LAB TESTS)

Müller, U. (2002). “Material analysis of adobe samples, Chan Chan, Peru (unpublished)”. *The Getty Conservation Institute*, 13 pp.. In English. (LAB TESTS)

Toumbakari, E.E. (2002b). “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”. *Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven*, 364. In English. (LAB TESTS)

Toumbakari, E.E. (2002c). “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”. *Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven*, 364. In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a). “Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates”. *Journal of Composites for Construction*, Vol. 5, No. 3, 163-169. Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b). “Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates”. *Journal of Composites for Construction*, (5):3, 163-169. Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm). In English. (LAB TESTS)

Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c). “Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates”. *Journal of Composites for Construction*, (5):3, 163-169. Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)

Binda, L. (2001). “Certificato di prova "Indagini soniche presso la Cattedrale di Noto"”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Valluzzi, M.R. (2000). “Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base base di calce”. *Ph.D. thesis, Università degli Studi di Padova*. In Italian. (LAB TESTS)

Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau”. *3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany*, 45-56. In German. (LAB TESTS)

Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Kapelle der Versöhnung-Schlussbericht zur Fremdüberwachung, Forschungs- und Seminarbericht des Fachgebietes Tragwerkslehre und Baukonstruktion der TU Berlin (unpublished)”. . In German. (LAB TESTS)

Caleca, L. (2000). “Architettura Tecnica”. . Dario Flaccovio. In Italian. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000). “Indagini Sperimentali per la Scelta dei Nuovi Materiali per la Ricostruzione della Cattedrale di Noto”. *Seminario Internazionale su: Cattedrale di Noto e Frauenkirche di Dresda: Indagini e Studi per il Progetto di Ricostruzione*. In Italian. (LAB TESTS)

Sc, Y., Weiss, P. (2000). “arches”. *11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK*, 5, 33. jshshsh. In English. (ON SITE TESTS)

Modena, C. (1999). “Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell’ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati”. *Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Regione Umbria, (1999). “Manuale per la riabilitazione e ricostruzione postsismica degli edifici”. . In Italian. (ON SITE TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Mirabella Roberti, G. (1999a). “The Role of Heavy Persistent Actions Into the Behaviour of Ancient Masonry”. *8th Int. Conf. on Exhibition, Structural Faults + Repair*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Mirabella Roberti, G. (1999b). “The Role of Heavy Persistent Actions Into the Behaviour of Ancient Masonry”. *8th Int. Conf. on Exhibition, Structural Faults + Repair*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Mirabella Roberti, G. (1999c). “The Role of Heavy Persistent Actions Into the Behaviour of Ancient Masonry”. *8th Int. Conf. on Exhibition, Structural Faults + Repair*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Mirabella Roberti, G. (1999d). “The Role of Heavy Persistent Actions Into the Behaviour of Ancient Masonry”. *8th Int. Conf. on Exhibition, Structural Faults + Repair*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Mirabella Roberti, G. (1999e). “The Role of Heavy Persistent Actions Into the Behaviour of Ancient Masonry”. *8th Int. Conf. on Exhibition, Structural Faults + Repair*, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). “Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania”. *9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia*, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (1999). “Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Torrazzo di Cremona”. *DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database*. In Italian. (LAB TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). “Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)”. *6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings*, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). “Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean”. *CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Baronio, G., Binda, L. (1998). “Multiple Leaf Stone Masonry as a Composite: the Role of Materials on its Behaviour and Repair”. *Incomarech-Raphael 97/E/412, Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage*, 1, 177-212. In English. (ON SITE TESTS)

Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). “Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati”. *Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997). “Lime pozzolana cement injection grouts for the repair and strengthening of three leaf masonry structures”. *Proceedings of 4th International conference on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Rodhes, Greece*, 385–394. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). “Experimental research to characterize masonry materials”. *Masonry International*, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Mirabella Roberti, G., Binda, L., Anzani, A. (1997a). “Experimental investigation into the effects of persistent and cyclic loads on the masonry of ancient towers”. *7th Int. Conf. and Exhibition, Structural Faults + Repair 97*, 3, 339-347. In English. (LAB TESTS)

Mirabella Roberti, G., Binda, L., Anzani, A. (1997b). “Experimental investigation into the effects of persistent and cyclic loads on the masonry of ancient towers”. *7th Int. Conf. and Exhibition, Structural Faults + Repair 97*, 3, 339-347. In English. (LAB TESTS)

Mirabella Roberti, G., Binda, L., Anzani, A. (1997c). “Experimental investigation into the effects of persistent and cyclic loads on the masonry of ancient towers”. *7th Int. Conf. and Exhibition, Structural Faults + Repair 97*, 3, 339-347. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997b). “Experimental research to characterize masonry materials”. *Masonry International*, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). “Experimental research to characterize masonry materials”. *Masonry International*, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Anzani, A., Binda, L., Melchiorri, G. (1996). “Il comportamento dipendente dal tempo di antiche murature: un'indagine sperimentale”. *La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto*, 115-124. In Italian. (ON SITE TESTS)

Vintzileou, E., Tassios, T.P. (1995). “Three-leaf stone masonry strengthened by injecting cement grouts”. *Journal of Structural Engineering*, 121(5), 848–856. In English. (LAB TESTS)

Serway, R.A. (1995). “Physics for Scientists and Engineers, 4th edition”. *Harcocut Brace College Publishers*. In English. (LAB TESTS)

Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). “In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests”. *Masonry International*, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Anzani, A. (1994a). “Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei”. *Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Anzani, A. (1994b). “Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei”. *Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'*. In Italian. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A. (1994c). “Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei”. *Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'*. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A. (1994d). “Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei”. *Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'*. In Italian. (LAB TESTS)

Barbisan, U., Franco, L. (1994). “I solai in legno”. . In Italian. (ON SITE TESTS)

Tomaževič, M., Apih, V. (1993). “The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts”. *European Earthquake Engineering*, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)

Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C., Rossi, P.P. (1993). “Caratterizzazione meccanica e consolidamento statico delle murature dei centri abitati di antica origine della provincia di Trento”. *Murature, Sicurezza e Recupero, Trento*, 154–184. In Italian. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). “Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research”. *Journal of Structural Engineering*, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). “Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research”. *Journal of Structural Engineering*, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Anzani, A. (1993). “The time-dependent behaviour of masonry prisms: an interpretation”. *The Masonry Society Journal*, 11 - No. 2, 17-34. In English. (LAB TESTS)

Mastrodicasa, S. (1993). “Dissesti statici delle strutture edilizie”. . Hoepli. In Italian. (ON SITE TESTS)

Giuffrè, A. (1993). “Sicurezza e conservazione dei centri storici in area sismica, il caso Ortigia”. . In Italian. (ON SITE TESTS)

Dal Farra, V. (1992). “Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra”. *MS thesis, Università degli Studi di Padova*. In Italian. (ON SITE TESTS)

Tomaževič, M. (1992). “Laboratory and in-situ tests of the efficacy of grouting and tying of stone masonry walls”. *International workshop on the Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Politecnico di Milano*, 95–116. In English. (LAB TESTS)

Tomaževič, M., Lutman, M., Weiss, P., Velechovsky, T. (1992). “The influence of rigidity of floors on the seismic resistance of old masonry buildings”. *Technical report, Report ZRMK. Ljubljana*. In English. (ON SITE TESTS)

Ahnert, R., Krause, K.H. (1991). “Typische baukonstruktionen von 186bis 1960”. . Verlag fur Bauwesen. In German. (ON SITE TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a). “Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni”. *Ingegneria sismica*, Anno VII, N.1. In Italian. (LAB TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b). “Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni”. *Ingegneria sismica*, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In Italian. (LAB TESTS)

Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c). “Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni”. *Ingegneria sismica*, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)

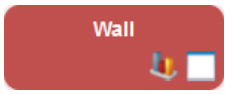
Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d). “Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni”. *Ingegneria sismica*, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)

Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). “Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems”. *Structural Conservation of Stone Masonry*, 431-441. In English. (LAB TESTS)

ALLEGATO 7 I PARAMETRI, I VALORI E LE LORO CORRELAZIONI CON LE SPECIFICHE DEGLI ELEMENTI E I MECCANISMI DI COLLASSO

A7.1 Elemento costruttivo “muro”

A7.1.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali



Material	Typology	In-Plane Failure	Out-of-Plane Overturning	Out-of-Plane Flexure	Layer Separation
Stone Masonry	Single-Leaf	Post-tensioning of vertical strengthening Grout injection Simple repointing	Post-tensioning of vertical strengthening Grout injection Simple repointing Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls Steel plates and hidden joints	Post-tensioning of vertical strengthening Grout injection Simple repointing	

Stone Masonry => Single-Leaf

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		2,200.00 - 2,200.00 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		298.00 - 4,000.00 (view)
Onset of cracking	σcr	[MPa]		0.76 - 24.66 (view)
Peak Strain	ε	[x 10(-3)]		3.30 - 11.33 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		3.90 - 39.91 (view)
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Stone	Apparent density	ρ	[kg/m3]		2,200.00 - 2,200.00 (view)
Stone	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		4.96 - 119.70 (view)
Stone	Elastic modulus	E	[N/mm2]		6.15 - 14,500.00 (view)
Stone	Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.81 - 14.50 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.50 - 1.50 (view)
Mortar	Elastic modulus	E	[N/mm2]		2.40 - 2.40 (view)

Stone Masonry

Multi-Leaf

Post-tensioning of vertical strengthening	Post-tensioning of vertical strengthening	Post-tensioning of vertical strengthening	Grout injection
Grout injection	Grout injection	Grout injection	Transversal ties
Simple repointing	Transversal ties	Simple repointing	Simple repointing
Steel rods and additional nails and bolts	Simple repointing		
	Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls		

Stone Masonry => Multi-Leaf

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		0.40 - 0.45 (view)
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		19.10 - 19.10 (view)
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		55.70 - 93.50 (view)
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Ultimate loads	Q	[kN]		283.35 - 415.89 (view)
Onset of cracking	σcr	[MPa]		0.15 - 2.90 (view)
Peak Strain	ε	[x 10(-3)]		4.40 - 6.20 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		167.00 - 5,200.00 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		8.00 - 837.00 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.21 - 15.32 (view)
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.57 - 4.37 (view)
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		0.029 - 0.37 (view)
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.055 - 0.055 (view)
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		46.00 - 46.00 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Stone	Apparent density	ρ	[kg/m3]		2,642.00 - 2,665.00 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.80 - 11.37 (view)
Stone	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		17.60 - 189.90 (view)
Mortar	Elastic modulus	E	[N/mm2]		2,475.00 - 4,700.00 (view)
Stone	Elastic modulus	E	[N/mm2]		8,526.00 - 80,100.00 (view)
Stone	Open porosity	po	[%]		1.20 - 1.40 (view)
Mortar	Poisson´s Ratio	v	[-]		0.27 - 0.27 (view)
Stone	Porosity	ϕ	[%]		8.30 - 15.00 (view)
Stone	Real density	ρr	[kg/m3]		2,405.00 - 3,104.00 (view)
Mortar	Tensile strength	ft	[N/mm2]		1.40 - 2.39 (view)
Stone	Tensile strength	ft	[N/mm2]		2.06 - 29.60 (view)
Stone	Poisson´s Ratio	v	[-]		0.090 - 0.21 (view)

Brick Masonry

Single-Leaf

- Post-tensioning of vertical strengthening
- Grout injection
- Simple repointing
- Reinforced repointing
- Metallic strips and diagonals
- Geotextiles at both faces, through-wall tied

- Post-tensioning of vertical strengthening
- Grout injection
- Reinforced repointing
- Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls

- Post-tensioning of vertical strengthening
- Grout injection
- Reinforced repointing

- Wooden horizontal chaining

Brick Masonry => Single-Leaf

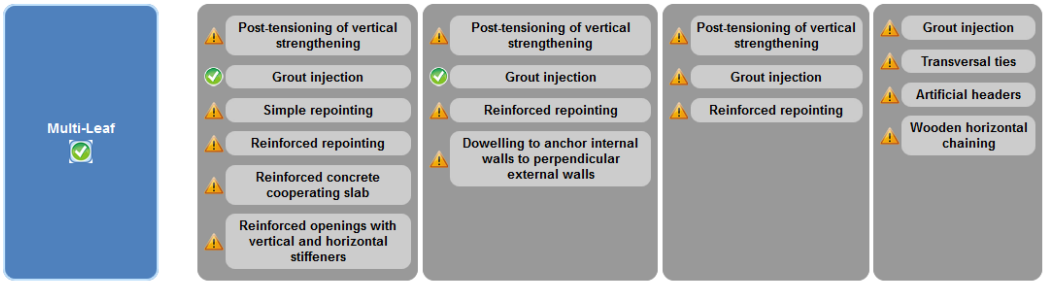
Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,800.00 - 1,950.00 (view)
Friction coefficient	μ	[-]		0.25 - 0.30 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,000.00 - 12,000.00 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		5.00 - 27.00 (view)
Bond Strength (Adhesion, Tensile)	fu	[N/mm²]		0.032 - 0.95 (view)
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Diameter	o	[mm]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Mortar	Cohesion coefficient	C	[N/mm2]		0.60 - 0.60 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.72 - 2.81 (view)
Mortar	Friction coefficient	μ	[-]		0.73 - 0.73 (view)
Mortar	Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.32 - 0.32 (view)
Solid brick	Tensile strength	ft	[N/mm2]		2.00 - 2.00 (view)
Solid brick	Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,688.00 - 1,724.00 (view)
Solid brick	Water absorption	W	[kg/(m2·h1/4)]		4.79 - 6.54 (view)
Solid brick	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.52 - 16.00 (view)
Solid brick	Elastic modulus	E	[N/mm2]		2,156.00 - 2,171.00 (view)
Solid brick	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		2.44 - 3.28 (view)
Mortar	Tensile bond Strength	ftb	[MPa]		0.039 - 0.085 (view)

Brick Masonry



Brick Masonry => Multi-Leaf

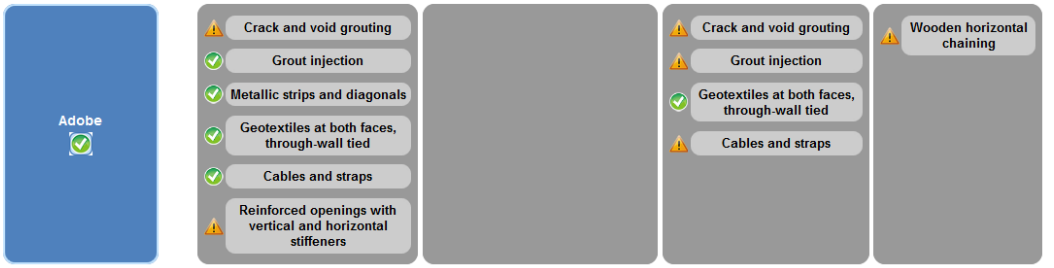
Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		719.00 - 2,470.00 (view)
Peak Strain	ε	[x 10(-3)]		3.00 - 5.50 (view)
Onset of cracking	σcr	[MPa]		1.40 - 2.80 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.00 - 13.21 (view)
Bond Strength (Adhesion, Tensile)	fu	[N/mm²]		0.032 - 0.95 (view)
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.38 - 0.38 (view)
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Solid brick	Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,255.00 - 2,411.00 (view)
Mortar	Bond Strength (Adhesion, Tensile)	fu	[N/mm²]		0.032 - 0.95 (view)

Earthen Masonry



Earthen Masonry => Adobe

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,850.00 - 2,000.00 (view)
Ductility	μ	[-]		2.32 - 2.32 (view)
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		57.33 - 66.11 (view)
Poisson´s Ratio	v	[-]		0.37 - 0.37 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.14 - 5.60 (view)
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		0.017 - 0.074 (view)
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.018 - 0.090 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		315.00 - 3,500.00 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		41.00 - 41.00 (view)
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.21 - 0.21 (view)
Friction coefficient	μ	[-]		0.35 - 0.35 (view)
Shear Strain	γ	[-]		0.005 - 0.025 (view)
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Mortar	Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,150.00 - 1,960.00 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.06 - 3.16 (view)
Mortar	Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.30 - 1.10 (view)
Mortar	Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,067.00 - 1,067.00 (view)
Mortar	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.83 - 1.39 (view)
Solid brick	Apparent density	ρ	[kg/m3]		760.00 - 2,050.00 (view)
Solid brick	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.30 - 7.70 (view)
Solid brick	Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.17 - 0.50 (view)
Solid brick	Elastic modulus	E	[N/mm2]		98.00 - 2,353.00 (view)
Solid brick	Poisson´s Ratio	v	[-]		0.19 - 0.43 (view)
Solid brick	Moisture	w	[%]		1.00 - 7.00 (view)

Rammed Earth

- Crack and void grouting
- Post-tensioning of vertical strengthening
- Grout injection
- Reinforced repointing
- Crack Stitching
- Steel mesh with cement plaster
- Geotextiles at both faces, through-wall tied
- Cables and straps
- Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners

- Post-tensioning of vertical strengthening
- Buttresses
- Grout injection
- Reinforced repointing
- Anchorage, Wall cross-ties
- Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls
- Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)
- Bond-beam (flexible, i.e. timber)
- Diaphragm
- Steel connection elements

- Crack and void grouting
- Post-tensioning of vertical strengthening
- Buttresses
- Grout injection
- Reinforced repointing
- Anchorage, Wall cross-ties
- Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)
- Bond-beam (flexible, i.e. timber)
- Steel mesh with cement plaster
- Geotextiles at both faces, through-wall tied
- Diaphragm
- Cables and straps
- Steel connection elements

- Steel connection elements
- Wooden horizontal chaining

Monolithic Earth Materials

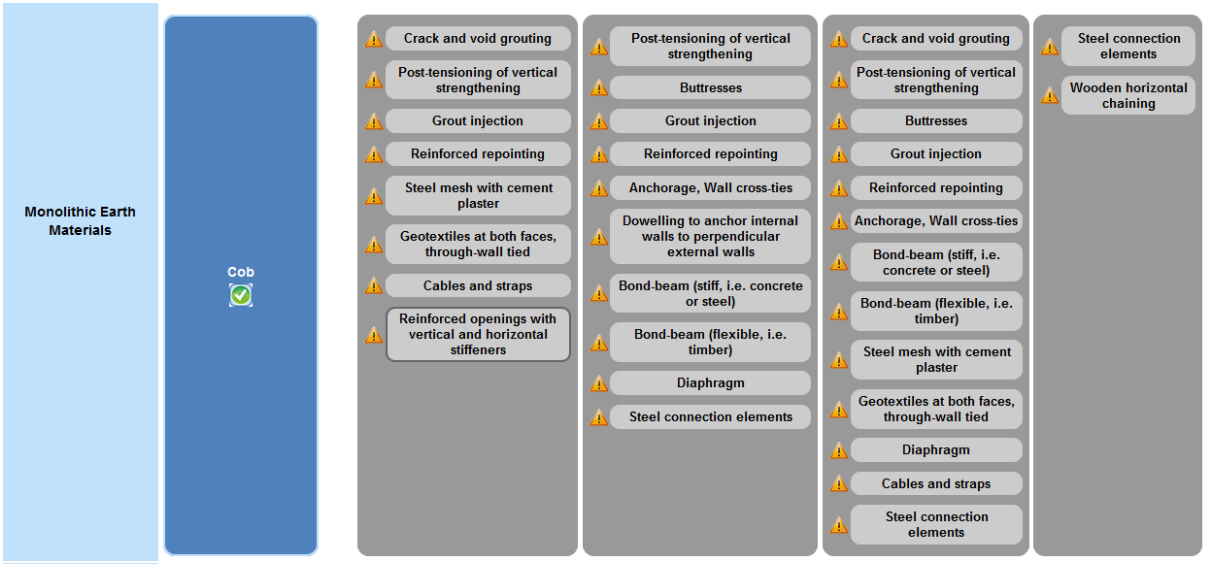
Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.84 - 3.89 (view)
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		90.00 - 4,143.00 (view)
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,790.00 - 2,300.00 (view)
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.55 - 0.89 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		145.00 - 1,958.00 (view)
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.36 - 0.63 (view)
Moisture	w	[%]		2.50 - 3.10 (view)
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Poisson´s Ratio	v	[-]		0.27 - 0.27 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values



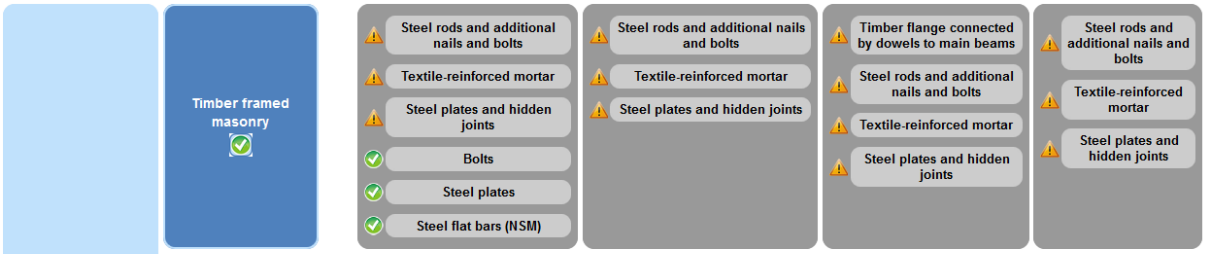
Monolithic Earth Materials => Cob

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1,400.00 - 1,600.00 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.65 - 1.59 (view)
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.50 - 0.50 (view)
Elastic modulus	E	[N/mm2]		170.00 - 651.00 (view)
Shear modulus	G	[N/mm2]		19.50 - 420.00 (view)
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.090 - 0.34 (view)
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.32 - 0.32 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values



Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		3.60 - 4.49 (view)
Ductility	μ	[-]		3.27 - 5.84 (view)
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		0.10 - 0.14 (view)
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		2.39 - 6.41 (view)
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.49 - 1.89 (view)

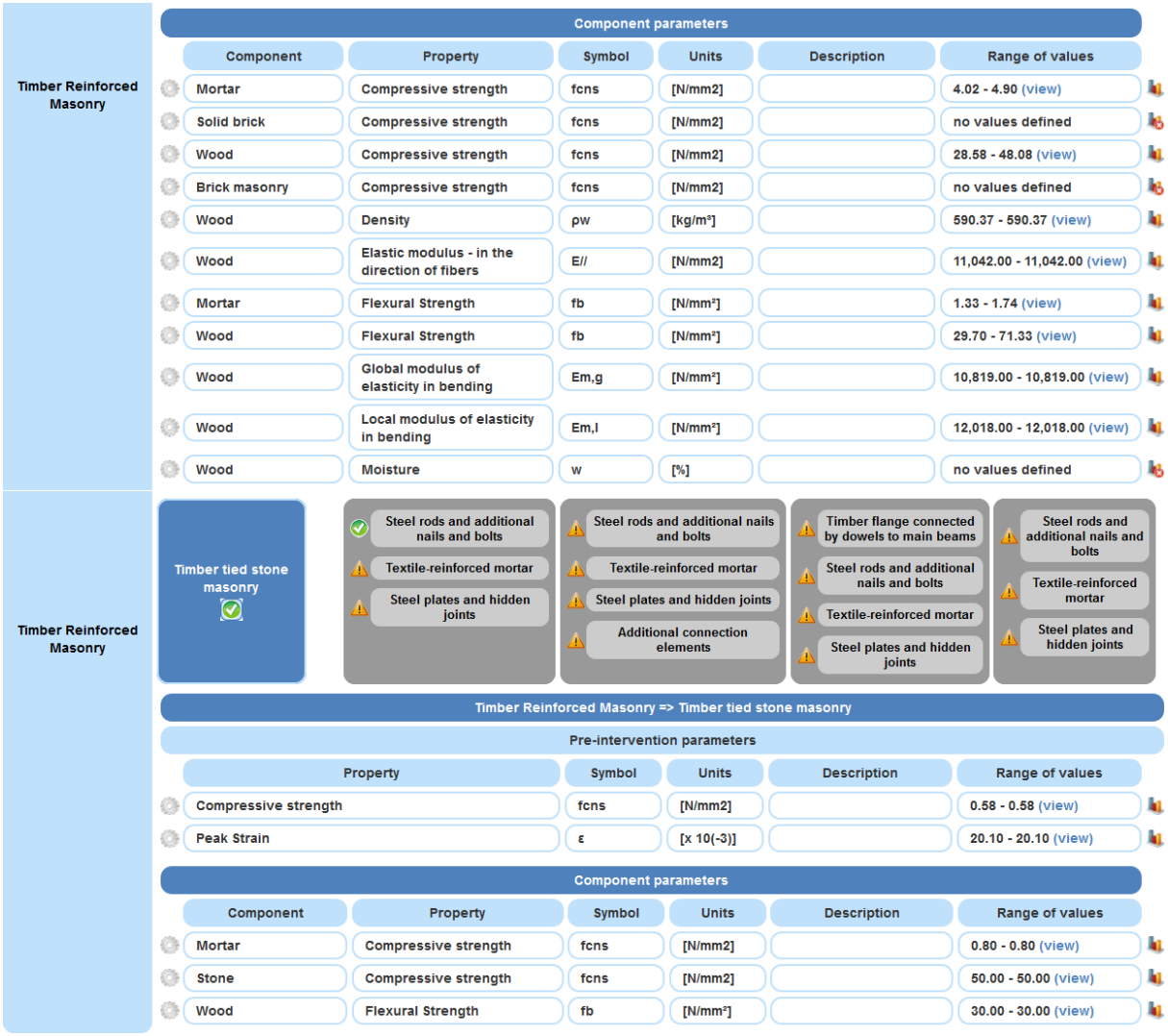


Figura 219: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "muro"

A7.1.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
2200		(2007). "Posudek účinku nově zavěšeného zvonu na dynamické chování věží kapitulního chrámu sv. Petra a Pavla v Praze – Vyšehradě". Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i.. In Czech. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
298	double flat jack test on the internal masonry layer of a pier composed by roubble materials (river pebbles and pieces of stones)	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
4000		(2007). "Posudek účinku nově zavěšeného zvonu na dynamické chování věží kapitulního chrámu sv. Petra a Pavla v Praze – Vyšehradě". Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v.v.i.. In Czech. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
0.76	double flat jack test on the internal masonry layer of a pier composed by roubble materials (river pebbles and pieces of stones)	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
0.86	Irregular stone blocks made by Serena stone (compact sandstone)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.76	Irregular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2.5	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994b). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
2.77	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
2.87	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2.87	Irregular stone blocks made by Serena stone (compact sandstone)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
3.41	Irregular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
5.73	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
6.3	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)

7.15	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994b). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
15	Regular stone blocks made by Serena stone (compact sandstone)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
24.66	Regular stone blocks made by Serena stone (compact sandstone)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Peak Strain • ε [x 10(-3)]

Value	Description	Publication
3.3	Irregular stone made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
3.9	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
3.9	Irregular stone made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.8	Irregular stone masonry made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.9	Irregular stone masonry made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
10.1	Regular stone blocks made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
11.2	Regular stone masonry made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
11.33	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
3.9	Irregular stones made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
3.9	Irregular stones made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4	Irregular stones made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.09	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994b). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)

4.2	Irregular stones made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.24	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
8.3	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
9	Regular stone blocks made by Noto stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
11.8	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by sandstone irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994b). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
12.32	Tests on rubble masonry prisms (775x410x930mm) composed by granite irregular stones.	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
37.35	Regular stone blocks made by Serena stones (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
39.91	Regular stone blocks made by Serena stone (calcarenite)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003a). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Stone

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
2200	Sandstone	Pelà, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). "Seismic assessment of masonry arch bridges". Engineering Structures, 31, 1777-1788. In English. (LAB TESTS)
2200	Sandstone (Piedra de Montjuïc)	(2005). "Ensayo a compresión uniaxial de testigos tomados de muestras de piedra de la fachada mayor de la Catedral de Barcelona". . In Spanish. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Stone

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
4.96	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)
5.94	Calcarenite specimen	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
51	Sandstone (Piedra de Montjuïc)	(2005). "Ensayo a compresión uniaxial de testigos tomados de muestras de piedra de la fachada mayor de la Catedral de Barcelona". . In Spanish. (LAB TESTS)
86	Sandstone	Pelà, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). "Seismic assessment of masonry arch bridges". Engineering Structures, 31, 1777-1788. In English. (LAB TESTS)
106.3	Sandstone specimen	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
119.7	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Stone

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
6.147	Calcarenite specimen	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
25	Sandstone specimen	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)
820	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)
11000	Sandstone (Piedra de Montjuïc)	(2005). "Ensayo a compresión uniaxial de testigos tomados de muestras de piedra de la fachada mayor de la Catedral de Barcelona". . In Spanish. (LAB TESTS)
13797	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)
14500	Sandstone	Pelà, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). "Seismic assessment of masonry arch bridges". Engineering Structures, 31, 1777-1788. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Stone

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.81	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)
3.88	Stone samples from multiple leaf walls (volcanic stones)	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Morphological and Mechanical Characteristics of Masonries and Material Properties, The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 131-135. Roma, E. Faccioli an V. Pessina (Eds). In English. (LAB TESTS)
14.5	Sandstone	Pelà, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). "Seismic assessment of masonry arch bridges". Engineering Structures, 31, 1777-1788. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.5	Lime mortar specimens	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf => Mortar

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.4	Lime mortar specimens	Binda, L., Anzani, A. (1994a). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (ON SITE TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Displacement capacity • ψ [%]

Value	Description	Publication
0.4	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 1:1 - Ultimate displacement limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
0.45	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 2:3 - Ultimate displacement limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Equivalent viscous damping • ζ [%]

Value	Description	Publication
19.1	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 1:1 and 2:3 - Ultimate displacement limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
55.7	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 2:3 - Maximum resistance limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
93.5	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 1:1 - Maximum resistance limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
283.35	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular Noto stones (calcarenite) and an internal leaf in rubble materials.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
391.1	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
415.89	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials.	Binda, L., Pina-Henriques, J., Anzani, A., Fontana, A., Lourenço, P.B. (2006). "A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modelling". Engineering Structures, 28(8), 1132–1148. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
0.15	Tests on stone masonry piers composed by dessed blocks on one face and rubble masonry on other (762x457x1370mm).	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
0.29	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
0.35	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
0.8	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 (average of cyclic and monotonic tests)	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
1.15	Tests on stone masonry piers composed by dessed blocks on one face and rubble masonry on other (762x457x1370mm).	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
1.22	Tests on sampled stone masonry piers composed by external layers made with worked stones and an irregular infill.	Binda, L., Anzani, A. (1994c). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In English. (LAB TESTS)
1.51	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 2:3 (average of cyclic and monotonic tests)	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
1.8	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.83	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2.9	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Peak Strain • ε [x 10(-3)]

Value	Description	Publication
4.4	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
5.1	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
6.2		Vintzileou, E. (2008a). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
167		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
190		Dal Farra, V. (1992). "Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra". MS thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
190	Result obtained by double flat jack test carried out on a the core of a pier made by irregular elements (calcarenite roughly shaped blocks and pebbles).	Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). "Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)". 6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)
248		Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C., Rossi, P.P. (1993). "Caratterizzazione meccanica e consolidamento statico delle murature dei centri abitati di antica origine della provincia di Trento". Murature, Sicurezza e Recupero, Trento, 154–184. In Italian. (ON SITE TESTS)
294		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)
303	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
370	Result obtained by double flat jack test on a the external layer of a masonry wall made by irregular elements (calcarenite and pebbles).	Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). "Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)". 6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)
550	Secant Elastic Modulus obtained by double flat jack test carried out on multileaves stone masonry, estimated between 1.2 and 1.8 load interval	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
596	Double flat jack test carried out on an irregular stone masonry.	Anzani, A., Baronio, G., Binda, L. (1998). "Multiple Leaf Stone Masonry as a Composite: the Role of Materials on its Behaviour and Repair". Incomarech-Raphael 97/E/412, Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage, 1, 177-212. In English. (ON SITE TESTS)
798		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). "Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing". Construction and Building Materials, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)
1067		Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. (2003). "Experimental study on the determination of strength of masonry walls". Construction and Building Materials, 17(5), 325–337. In English. (LAB TESTS)

1083		Toumbakari, E.E. (2002). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven. In English. (LAB TESTS)
1149		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati". Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
1205	Result obtained by double flat jack test on a the external layer of a masonry wall made by irregular elements (calcarenite and pebbles).	Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). "Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)". 6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)
1215	Result obtained by double flat jack test on a the external layer of a masonry wall made by irregular elements (calcarenite and pebbles).	Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). "Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)". 6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)
1241	Double flat jack test on a masonry texture composed by roughly shaped stones with horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Montesanto". DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database. In Italian. (LAB TESTS)
1288		Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). "In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests". Masonry International, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)
1313		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008). "Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts". Engineering Structures, 30(8), 2265–2276. Seismic reliability, analysis, and protection of historic buildings and heritage sites. In English. (LAB TESTS)
1400	Double flat jack test carried out on regular masonry texture.	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
1525	Result obtained by double flat jack test carried out on the external layer of a pier made by regular elements (calcarenite)	Binda, L., Baronio, G., Gavarini, C., De Benedictis, R., Tringali, S. (1999). "Investigation on Materials and Structures for the Reconstruction of the Partially Collapsed Cathedral of Noto (Sicily)". 6° Int. Conf. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings, 323-332. In English. (ON SITE TESTS)
1556	Double flat jack test carried out on an irregular stone masonry.	Anzani, A., Baronio, G., Binda, L. (1998). "Multiple Leaf Stone Masonry as a Composite: the Role of Materials on its Behaviour and Repair". Incomarech-Raphael 97/E/412, Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage, 1, 177-212. In English. (ON SITE TESTS)
1558	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1836		Valluzzi, M.R. (2000). "Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base base di calce". Ph.D. thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (LAB TESTS)
2068	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2300	Secant Elastic Modulus obtained by double flat jack test carried out on multileaves stone masonry, estimated between 1.2 and 1.8 load interval	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
2380		Binda, L., Pina-Henriques, J., Anzani, A., Fontana, A., Lourenço, P.B. (2006). "A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modelling". Engineering Structures, 28(8), 1132–1148. In English. (LAB TESTS)

2400	Secant Elastic Modulus obtained by double flat jack test carried out on multileaves stone masonry, estimated between 1.2 and 1.8 load interval	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
2462	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3 (average of cyclic and monotonic tests)	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
2519	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2900	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
3550		Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni". Technical report, Università degli Studi di Pavia, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)
3592	Double flat jack test on a masonry texture composed by roughly shaped stones with sub-horizontal repointed joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti: Montesanto". DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database. In Italian. (LAB TESTS)
4792		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997). "Lime pozzolana cement injection grouts for the repair and strengthening of three leaf masonry structures". Proceedings of 4th International conference on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Rodhes, Greece, 385–394. In English. (LAB TESTS)
5074		Vintzileou, E., Tassios, T.P. (1995). "Three-leaf stone masonry strengthened by injecting cement grouts". Journal of Structural Engineering, 121(5), 848–856. In English. (LAB TESTS)
5200	Double flat jack test carried out on regular masonry texture.	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
8		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
32		Dal Farra, V. (1992). "Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra". MS thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
36		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
40		Tomaževič, M., Lutman, M., Weiss, P., Velechovsky, T. (1992). "The influence of rigidity of floors on the seismic resistance of old masonry buildings". Technical report, Report ZRMK. Ljubljana. In English. (ON SITE TESTS)
52		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). "Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing". Construction and Building Materials, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)
79		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)

166		Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. (2003). "Experimental study on the determination of strength of masonry walls". Construction and Building Materials, 17(5), 325–337. In English. (LAB TESTS)
173		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati". Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
180	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests considering three different approaches (average value).	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
245		Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). "In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests". Masonry International, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)
837		Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni". Technical report, Università degli Studi di Pavia, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.208		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). "Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing". Construction and Building Materials, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)
0.47		Vintzileou, E. (2008a). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)
0.635		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)
0.639		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati". Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.75		Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C., Rossi, P.P. (1993). "Caratterizzazione meccanica e consolidamento statico delle murature dei centri abitati di antica origine della provincia di Trento". Murature, Sicurezza e Recupero, Trento, 154–184. In Italian. (ON SITE TESTS)
1.125		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
1.66		Anzani, A., Baronio, G., Binda, L. (1998). "Multiple Leaf Stone Masonry as a Composite: the Role of Materials on its Behaviour and Repair". Incomarech-Raphael 97/E/412, Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage, 1, 177-212. In English. (ON SITE TESTS)
1.671		Valluzzi, M.R. (2000). "Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base base di calce". Ph.D. thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (LAB TESTS)
1.742		Vintzileou, E., Tassios, T.P. (1995). "Three-leaf stone masonry strengthened by injecting cement grouts". Journal of Structural Engineering, 121(5), 848–856. In English. (LAB TESTS)
1.833		Oliveira, D.V., Lourenço, P.B., Roca, P. (2006). "Cyclic behaviour of stone and brick masonry under uniaxial compressive loading". Materials and Structures, 39(2), 247–257. In English. (LAB TESTS)

1.94		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008). "Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts". Engineering Structures, 30(8), 2265–2276. Seismic reliability, analysis, and protection of historic buildings and heritage sites. In English. (LAB TESTS)
2.17	Tests on sampled stone masonry piers composed by external layers made with worked stones and an irregular infill.	Binda, L., Anzani, A. (1994c). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In English. (LAB TESTS)
2.24	Maximum compressive stress applied by flat jack test carried out on multileaves stone masonry	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
2.243		Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). "In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests". Masonry International, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)
2.27	Maximum compressive stress applied by flat jack test carried out on multileaves stone masonry	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
2.304		Toumbakari, E.E. (2002). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven. In English. (LAB TESTS)
2.354		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997). "Lime pozzolana cement injection grouts for the repair and strengthening of three leaf masonry structures". Proceedings of 4th International conference on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Rodhes, Greece, 385–394. In English. (LAB TESTS)
2.45	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3 (average value of monotonic and cyclic tests).	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
2.59	Maximum compressive stress applied by flat jack test carried out on multileaves stone masonry	Binda, L., Baronio, G., Mirabella Roberti, G., Penazzi, D. (1999). "Caratteristiche Morfologiche e Meccaniche di Alcune Murature di Catania". 9th Convegno Nazionale. l'Ingegneria Sismica in Italia, CD-ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
2.81	Tests on sampled stone masonry piers composed by external layers made with worked stones and an irregular infill.	Binda, L., Anzani, A. (1994c). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In English. (LAB TESTS)
2.88	Tests on stone masonry piers composed by dessed blocks on one face and rubble masonry on other (762x457x1370mm).	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
3.277		Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni". Technical report, Università degli Studi di Pavia, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)
5.8	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
6.1		Binda, L., Pina-Henriques, J., Anzani, A., Fontana, A., Lourenço, P.B. (2006). "A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modelling". Engineering Structures, 28(8), 1132–1148. In English. (LAB TESTS)
6.4	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
15.32	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets (maximum applied stress, since failure was not reached)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
15.32	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill with offsets (maximum applied stress, since failure was not reached)	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003b). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.566	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 61.9 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
0.928	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 50.4 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
0.951	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 31.7 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
0.967	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 43.4 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
0.975	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 28.6 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.195	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 24.7 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.23	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 97.4 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.88	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill without offsets (max load 60.2 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
1.949	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets (max load 291.1 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
2.633	Masonry prism made by two external regular Noto stone layers and an internal rubble infill with offsets (max load 277.7 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.057	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill with offsets (max load 383.3 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)
4.37	Masonry prism made by two external regular Serena stone layers and an internal rubble infill with offsets (max load 407.6 kN).	Binda, L., Anzani, A., Fontana, A. (2003c). "Mechanical behaviour of multiple-leaf stone masonry: experimental research". 3-Day Int. Conf. Structural Faults & Repair - 2003, CD-ROM. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Initial shear strength • fv0 [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.029		Dal Farra, V. (1992). "Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio e consolidamento delle murature in pietra". MS thesis, Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.055		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.06		Tomaževič, M., Apih, V. (1993). "The strengthening of stone-masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts". European Earthquake Engineering, 6(1), 10–20. In English. (ON SITE TESTS)

0.069		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008). "Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing". Construction and Building Materials, 22(4), 463–472. In English. (ON SITE TESTS)
0.1		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008). "Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts". Engineering Structures, 30(8), 2265–2276. Seismic reliability, analysis, and protection of historic buildings and heritage sites. In English. (LAB TESTS)
0.11		Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. (2003). "Experimental study on the determination of strength of masonry walls". Construction and Building Materials, 17(5), 325–337. In English. (LAB TESTS)
0.12		Tomaževič, M. (1992). "Laboratory and in-situ tests of the efficacy of grouting and tying of stone masonry walls". International workshop on the Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Politecnico di Milano, 95–116. In English. (LAB TESTS)
0.137		Galasco, A., Penna, A., Magenes, G. (2009). "Caratterizzazione meccanica di muratura in pietra. parte seconda: prove cicliche di taglio-compressione su pannelli di grandi dimensioni". Technical report, Università degli Studi di Pavia, Allegato 4.2-UR01-2. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.137		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997). "Prove cicliche a compressione diagonale su pannelli in muratura di pietrame rinforzati con diverse tecniche: confronto dei risultati". Atti 8° Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria sismica in Italia, Taormina, CD–ROM. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.199		Modena, C. (1999). "Interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove in sito nell'ambito delle tre convenzioni con gli istituti di ricerca di firenze e milano e modellazione del comportamento strutturale dei componenti rinforzati". Technical report, Convenzione di ricerca tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova. In Italian. (ON SITE TESTS)
0.227		Chiostrini, S., Vignoli, A. (1994). "In-situ determination of the strenght properties of masonry walls by destructive shear and compression tests". Masonry International, 7(3). In English. (ON SITE TESTS)
0.349		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997). "Lime pozzolana cement injection grouts for the repair and strengthening of three leaf masonry structures". Proceedings of 4th International conference on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Rodhes, Greece, 385–394. In English. (LAB TESTS)
0.37		Toumbakari, E.E. (2002). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.055	Unreinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests, (average value).	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Energy dissipation capacity • Edis/Einp [%]

Value	Description	Publication
46	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 1:1 and 2:3 - Ultimate displacement limit state	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
2642	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
2657	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
2665	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.8	lime-pozzolan	Vintzileou, E. (2008a). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)
3.8	Hydraulic Lime Mortar - T30V	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
7.54	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9.34	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 75 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9.84	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 90 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
11.37	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 172 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
17.6	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
20.6	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
50	irregular limestone	Vintzileou, E. (2008a). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)
89	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

93.4	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
104.2	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
163.8	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
189.9	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Mortar

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2475	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
3389	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
4700	Hydraulic Lime Mortar - T30V	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
8526	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9476	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
18218	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
23293	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
54500	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
68000	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
80100	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Open porosity • po [%]

Value	Description	Publication
1.2	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
1.3	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
1.4	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Mortar

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.27	Hydraulic Lime Mortar - T30V	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Porosity • ϕ [%]

Value	Description	Publication
8.3	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
9.1	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
15	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Real density • ρr [kg/m3]

Value	Description	Publication
2405	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
2441	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
3104	Irregular whitecalcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Mortar

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.4	Hydraulic Lime Mortar - T30V	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

1.53	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
1.97	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 75 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
2.27	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 172 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
2.39	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 90 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.06	Obtained by splitting tests on cylindrical specimens in Noto stone (calcarenite).	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
6.07	Obtained by splitting tests on cylindrical specimens in Serena stone (calcarenite).	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
16.1	Regular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
17.3	Regular red calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)
29.6	Irregular white calcareous stone	Silva, B. (2012). "Diagnosis and strengthening of historical masonry structures: Numerical and experimental analyses". Ph.D. Thesis in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei. In English. (LAB TESTS)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf => Stone

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.09	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
0.1	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
0.19	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
0.21	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1800		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
1950		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.25		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
0.3		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
1255	Monoaxial compression test on brick specimens	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
1700	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
2400	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
2411	Monoaxial compression test on brick specimens	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
12000		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
5		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
5.66	Monoaxial Compression test test on brick specimens built with solid bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
6.5	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In Italian. (LAB TESTS)
6.7	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
7.52	Monoaxial Compression test test on brick specimens built with solid bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

9	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII, N.1. In Italian. (LAB TESTS)
11.5	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII, N.1. In Italian. (LAB TESTS)
13.21	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
16.3	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
17	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In Italian. (LAB TESTS)
18	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c). "Efficienza e durabilità dei consolidamenti strutturali mediante iniezioni". Ingegneria sismica, Anno VII N.1, gennaio-aprile 1990. In English. (LAB TESTS)
27		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Bond Strength (Adhesion, Tensile) • fu [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.032	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
0.95	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Mortar

Cohesion coefficient • C [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.6	Lime Mortar	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.72	Lime Mortar	Tohidi, M. (2012). "Experimental Mechanical Characterization of Historical Mortars by Windsor Pin Penetrometer". MS Thesis, Technical University of Catalonia. In English. (ON SITE TESTS)
2.81	Lime Mortar	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Mortar

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.727	Lime Mortar	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Mortar

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.32	Lime Mortar	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
2	Splitting test on brick core	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1688	solid bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997b). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (ON SITE TESTS)
1724	solid bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997b). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Water absorption • W [kg/(m2·h1/4)]

Value	Description	Publication
4.79	Capillarity suction test on solid bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997b). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (ON SITE TESTS)
6.54	Capillarity suction test on solid bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997b). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
10.52	Compression stress test on cubes cut from bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
14.25	Compression stress test on cubes cut from bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
16	Compression test on brick core	Benedetti, A., Pelà, L. (2012). "Experimental Characterization of Mortar by Testing on Small Specimens". 15th International Brick and Block Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2156	Compression stress test on cubes cut from bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
2171	Compression stress test on cubes cut from bricks	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Solid brick

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
2.44	Test on solid brick	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
3.28	Test on solid brick	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf => Mortar

Tensile bond Strength • ftb [MPa]

Value	Description	Publication
0.039	Triplets composed by solid bricks and cement mortar	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
0.085	Triplets composed by solid bricks and cement mortar	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997c). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
719	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
950		Toumbakari, E.E. (2002a). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
950		Toumbakari, E.E. (2002b). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
950		Toumbakari, E.E. (2002c). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
1281	Monoaxial compression test on brick specimens (60x110cm).	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
1491	Monoaxial compression test on brick specimens (60x110cm).	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
1700	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
1802	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
2040	Monoaxial compression test on brick specimens (60x110cm).	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
2116	Double flat jack test on Bizantine brick masonry.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
2344	Double flat jack test on Bizantine brick masonry.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007). "Raccolta dei parametri tensodeformativi ottenuti da prove con martinetti piatti". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
2470	Monoaxial compression test on brick specimens (60x110cm).	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
2470	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Peak Strain • ε [x 10(-3)]

Value	Description	Publication
3	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
5.5	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
1.4	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
2.8	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
2.23		Toumbakari, E.E. (2002a). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
2.23		Toumbakari, E.E. (2002b). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
2.23		Toumbakari, E.E. (2002c). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
3	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
3.3	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
3.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
3.7	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
4.1	results obtained by monotonic tests carried out on multileaves brick-masonry-prisms made up by two regular external layers and an internal layer constituded by rubble materials (parts of bricks with pebbles)	Binda, L., Anzani, A. (1994d). "Caratteristiche statiche di strutture realizzate con materiali lapidei". Seminario di Studio e Aggiornamento: 'Il Restauro della Pietra negli Edifici Storici'. In Italian. (LAB TESTS)
5.1	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
5.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
5.75	Monoaxial compression test on brick specimens (60x110cm).	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

5.8	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
5.9	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
6.7	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar in wet condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
8.94	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar in dry condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
12.69	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar in wet condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)
13.21	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar in dry condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a). "Repair of brick-masonries by injection of grouts: experimental research". Journal of Structural Engineering, 20, No. 1, 29-44. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Bond Strength (Adhesion, Tensile) • fu [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.032	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
0.95	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.38		Toumbakari, E.E. (2002a). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
0.38		Toumbakari, E.E. (2002b). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)
0.38		Toumbakari, E.E. (2002c). "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls". Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 364. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf => Solid brick

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1255	Monoaxial compression test on brick specimens	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
2411	Monoaxial compression test on brick specimens	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf => Mortar

Bond Strength (Adhesion, Tensile) • fu [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.032	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)
0.95	Shear bond test on triplets made by bricks with lime mortar.	Binda, L., Tiraboschi, C., Abbaneo, S. (1997a). "Experimental research to characterize masonry materials". Masonry International, Vol. 10, No. 3, 63-104. In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1850		(2010). "Lehmsteine und Lehmmauermoertel". http://www.claytec.de/produkte/baustoffe/lehmsteine-und-lehmmauermoertel.html. In German. (LAB TESTS)
1870		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
2000		(2010). "Lehmsteine und Lehmmauermoertel". http://www.claytec.de/produkte/baustoffe/lehmsteine-und-lehmmauermoertel.html. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Ductility • μ [-]

Value	Description	Publication
2.32		Wünsche, M., Pospíšil, S., Hračov, S., Urushadze, S. (2012). "Cyclic loading of masonry walls and its anti seismic strengthening". Engineering Mechanics 2012. In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
57.334		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
66.114		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.37	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
0.37	new-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.14		Gasparini, J. (2006). "Erdbebensicherheit von Lehmsteinbauten untersucht für den Standort Oaxaca, Mexiko". TU Berlin. In German. (LAB TESTS)
3.28		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
3.28		Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
5.4		Garofano, A. (2011). "Structural Behaviour of Masonry Walls Strengthened with Mortar Layers Reinforced with FRP". Czech Technical University in Prague. In English. (ON SITE TESTS)
5.6		Garofano, A. (2011). "Structural Behaviour of Masonry Walls Strengthened with Mortar Layers Reinforced with FRP". Czech Technical University in Prague. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Initial shear strength • fv0 [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.017		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008). "Shear and out of plane bending strength of adobe walls externally reinforced with polypropylene grids". The 14th World Conference on Earthquake Engineering. In English. (LAB TESTS)
0.038		Gasparini, J. (2006). "Erdbebensicherheit von Lehmsteinbauten untersucht für den Standort Oaxaca, Mexiko". TU Berlin. In German. (LAB TESTS)
0.069		Gasparini, J. (2006). "Erdbebensicherheit von Lehmsteinbauten untersucht für den Standort Oaxaca, Mexiko". TU Berlin. In German. (LAB TESTS)
0.074		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.018		Torrealva, D. (2009). "Diseno sismico de muros de adobe renforzados con geomallas". Conservas del Patrimonio Arquitectonico, Pisco, Peru, 25pp. In Spanish. (LAB TESTS)
0.0206		Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
0.04		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
0.046		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)
0.09		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
315		Gasparini, J. (2006). "Erdbebensicherheit von Lehmsteinbauten untersucht für den Standort Oaxaca, Mexiko". TU Berlin. In German. (LAB TESTS)
803		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
3500		(2011). "Technical report with the experimental results on vertical elements". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
41		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.21		Torrealva, D. (2009). "Diseno sismico de muros de adobe renforzados con geomallas". Conservas del Patrimonio Arquitectonico, Pisco, Peru, 25pp. In Spanish. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.35		Villa Garcia, G., Brzev, S., Blondet, M. (2003). "Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial". http://www.world-housing.net. In English. (ON SITE TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Shear Strain • γ [-]

Value	Description	Publication
0.005		Torrealva, D. (2009). "Diseno sismico de muros de adobe renforzados con geomallas". Conservas del Patrimonio Arquitectonico, Pisco, Peru, 25pp. In Spanish. (LAB TESTS)
0.005		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008). "Shear and out of plane bending strength of adobe walls externally reinforced with polypropylene grids". The 14th World Conference on Earthquake Engineering. In English. (LAB TESTS)
0.02		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012). "Overview of Different Strengthening Techniques Applied on Walls Used in Historical Structures". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
0.025		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008). "Shear and out of plane bending strength of adobe walls externally reinforced with polypropylene grids". The 14th World Conference on Earthquake Engineering. In English. (LAB TESTS)
0.025		Torrealva, D. (2009). "Diseno sismico de muros de adobe renforzados con geomallas". Conservas del Patrimonio Arquitectonico, Pisco, Peru, 25pp. In Spanish. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Mortar

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1150	New-Build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
1500	New-build	Azeredo, G., Morel, J.C. (2009). "Tensile Strength of earth mortars and its influence on earth masonry behaviour". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)
1890	New-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
1900	New-build	Azeredo, G., Morel, J.C. (2009). "Tensile Strength of earth mortars and its influence on earth masonry behaviour". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)
1960	New-Build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.06	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
3.16	new-build (prefabricated)	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
3.16	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Mortar

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.3	new-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
0.3	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
0.4	new-build	Azeredo, G., Morel, J.C. (2009). "Tensile Strength of earth mortars and its influence on earth masonry behaviour". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)
1.1	new-build	Azeredo, G., Morel, J.C. (2009). "Tensile Strength of earth mortars and its influence on earth masonry behaviour". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Mortar

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1067	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Mortar

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.83	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
1.39	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
760	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
1800	historic material	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
1860	new-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
1880	new-buildl	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
2050	historic material	Müller, U. (2002). "Material analysis of adobe samples, Chan Chan, Peru (unpublished)". The Getty Conservation Institute, 13 pp.. In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.3	historic	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
1.5		Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
1.6	historic	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
5.1	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
7.7	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.173	historic material	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
0.395	historic material	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Santarsiero, D., Tancredi, C. (2006). "Typological and Experimental Investigation of the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 851-858. In English. (ON SITE TESTS)
0.5	new-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
0.5	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
98	new-build imitating historic	Quagliarini, E., Lenci, S. (2010july). "The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks". Journal of Cultural Heritage, 11, 309-314. In English. (LAB TESTS)
211	new-build imitating historic	Quagliarini, E., Lenci, S. (2010july). "The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks". Journal of Cultural Heritage, 11, 309-314. In English. (LAB TESTS)
387	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
2197	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
2353	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.19	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
0.43	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

0.43	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Earthen Masonry => Adobe => Solid brick

Moisture • w [%]

Value	Description	Publication
1	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)
7	new-build	Müller, U., Ziegert, C., Kaiser, C., Röhlen, U. (2012). "Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk". Mauerwerk, Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 16, 17-28. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.84		Bui, Q.B., Morel, J.C. (2009september). "Assessing the anisotropy of Rammed Earth". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)
0.9		Schroeder, H. (2010). "Lehmbau". Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 409 pp. . In German. (LAB TESTS)
1		Bui, Q.B., Hans, S., Morel, J.C. (2007august). "The compressive strength and pseudo-elastic modulus of rammed earth". International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India, 217-223. In English. (ON SITE TESTS)
2.42		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Kapelle der Versöhnung-Schlussbericht zur Fremdüberwachung, Forschungs- und Seminarbericht des Fachgebietes Tragwerkslehre und Baukonstruktion der TU Berlin (unpublished)". . In German. (LAB TESTS)
2.96		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Kapelle der Versöhnung-Schlussbericht zur Fremdüberwachung, Forschungs- und Seminarbericht des Fachgebietes Tragwerkslehre und Baukonstruktion der TU Berlin (unpublished)". . In German. (LAB TESTS)
3.2		Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). "Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau". Fraunhofer IRB Verlag, 21-29. In German. (LAB TESTS)
3.73		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
3.89		Schroeder, H. (2010). "Lehmbau". Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 409 pp. . In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
90		Bui, Q.B., Hans, S., Morel, J.C. (2007august). "The compressive strength and pseudo-elastic modulus of rammed earth". International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India, 217-223. In English. (ON SITE TESTS)
105		Bui, Q.B., Hans, S., Morel, J.C. (2007august). "The compressive strength and pseudo-elastic modulus of rammed earth". International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India, 217-223. In English. (ON SITE TESTS)
400		Röhlen, U., Ziegert, C. (2010). "Lehmbau-Praxis". Bauwerk-Verlag, Berlin. In German. (LAB TESTS)

650		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau”. 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)
650		(). “”. . ()
650		Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). “Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau”. Fraunhofer IRB Verlag, 21-29. In German. (LAB TESTS)
2000		Röhlen, U., Ziegert, C. (2010). “Lehmbau-Praxis”. Bauwerk-Verlag, Berlin. In German. (LAB TESTS)
4143		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). “Structural performance of earthen structural components of different construction techniques”. Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1790		Bui, Q.B., Hans, S., Morel, J.C. (2007august). “The compressive strength and pseudo-elastic modulus of rammed earth”. International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India, 217-223. In English. (ON SITE TESTS)
2100		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Kapelle der Versöhnung-Schlussbericht zur Fremdüberwachung, Forschungs- und Seminarbericht des Fachgebietes Tragwerkslehre und Baukonstruktion der TU Berlin (unpublished)”. . In German. (LAB TESTS)
2190		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). “Structural performance of earthen structural components of different construction techniques”. Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
2300		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Kapelle der Versöhnung-Schlussbericht zur Fremdüberwachung, Forschungs- und Seminarbericht des Fachgebietes Tragwerkslehre und Baukonstruktion der TU Berlin (unpublished)”. . In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.55		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). “Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau”. 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)
0.56		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). “Structural performance of earthen structural components of different construction techniques”. Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
0.71		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012). “Overview of Different Strengthening Techniques Applied on Walls Used in Historical Structures”. Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
0.71		Miccoli, L., Müller, U. (2012). “Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob”. Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
0.79		Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). “Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau”. Fraunhofer IRB Verlag, 21-29. In German. (LAB TESTS)

0.89		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau". 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
145		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau". 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)
145		Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). "Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau". Fraunhofer IRB Verlag, 21-29. In German. (LAB TESTS)
1958		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.36		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau". 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)
0.63		Dierks, K., Ziegert, C. (2000). "Materialprüfung und Begleitforschung im tragenden Lehmbau". 3rd International Symposium on Earthen Structures of German Association for Building with Earth, Berlin, Germany, 45-56. In German. (LAB TESTS)
0.63		Dierks, K., Widjaja, E., Ziegert, C. (2003). "Bewehrung im Stampflehmbau, in: Moderner Lehmbau". Fraunhofer IRB Verlag, 21-29. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Moisture • w [%]

Value	Description	Publication
2.5		Bui, Q.B., Morel, J.C. (2009september). "Assessing the anisotropy of Rammed Earth". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)
3.1		Bui, Q.B., Morel, J.C. (2009september). "Assessing the anisotropy of Rammed Earth". 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT2009), Bath, UK. In English. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.27	new-build	Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
0.27	new-build	Miccoli, L., Müller, U. (2012). "Characterisation of Earthen Materials. A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1400		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
1480		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)
1600		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.65		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
1.22		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
1.59		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.5		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
170		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
335		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
651		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
19.5		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
34.5		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
420		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.09		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)
0.34		Ziegert, C. (2003). "Lehmwellerbau: Konstruktion, Schäden und Sanierung". Fraunhofer IRB Verlag, 340. In German. (LAB TESTS)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.32		Miccoli, L., Müller, U., Perrone, C., Ziegert, C. (2012). "Structural performance of earthen structural components of different construction techniques". Terra 2012, XI International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. In German. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Displacement capacity • ψ [%]

Value	Description	Publication
3.6	displacement capacity for fatchwork wall tested cyclically with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G., Oliveira, D.V. (2013). "Influence of infill on the cyclic behaviour of traditional half-timbered walls". International Conference on Rehabilitation and Restoration of Structures, Chennai, India. In English. (ON SITE TESTS)
4.15	displacement capacity for wall tested cyclically with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
4.49	displacement capacity for wall tested cyclically with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). "Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Ductility • μ [-]

Value	Description	Publication
3.27	ductility of half-timbered walls tested cyclically in-plane with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). "Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
3.77	ductility of timber frame walls (without masonry infill)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
5.84	ductility of half-timbered walls tested cyclically in-plane with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). "Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Equivalent viscous damping • ζ [%]

Value	Description	Publication
0.1	stabilized value of EVDR for half-timbered walls tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.12	stabilized value of EVDR for half-timbered walls tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.121	stablized value of EVDR for timber frame walls (no infill) tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.13	maximum value of EVDR for half-timbered walls tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

0.135	stablized value of EVDR for timber frame walls (no infill) tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.14	maximum value of EVDR for half-timbered walls tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
2.39	initial stiffness of timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.31	initial stiffness of timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.39	initial stiffness of fatchwork walls with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.69	average initial stiffness of half-timbered walls with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.88	average initial stiffness of half-timbered walls with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
6.41	initial stiffness of fatchwork walls with higher vertical load level (150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.49	residual cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.7	residual cyclic stiffness for fatchwork walls with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.74	residual cyclic stiffness for half-timbered walls with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.79	residual cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.17	residual cyclic stiffness for fatchwork walls with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.21	residual cyclic stiffness for half-timbered walls with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.41	cyclic stiffness for half-timbered walls with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.58	cyclic stiffness for fatchwork walls with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.62	cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.62	cyclic stiffness for fatchwork walls with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.85	cyclic stiffness for half-timbered walls with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

1.89	cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
4.02	average compressive strength of mortar mixed by mason at time of cyclic test	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
4.5	average compressive strength of mortar mixed in lab conditions at 28 days	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
4.9	average compressive strength of mortar mixed in lab conditions at 56 days	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Ductility • μ [-]

Value	Description	Publication
3.27	ductility of half-timbered walls tested cyclically in-plane with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). "Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
3.77	ductility of timber frame walls (without masonry infill)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
5.84	ductility of half-timbered walls tested cyclically in-plane with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a). "Seismic behaviour of traditional half timbered walls: cyclic tests and strengthening solutions". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Equivalent viscous damping • ζ [%]

Value	Description	Publication
0.1	stabilized value of EVDR for half-timbered walls tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.12	stabilized value of EVDR for half-timbered walls tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.121	stablized value of EVDR for timber frame walls (no infill) tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.13	maximum value of EVDR for half-timbered walls tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.135	stablized value of EVDR for timber frame walls (no infill) tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.14	maximum value of EVDR for half-timbered walls tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
2.39	initial stiffness of timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.31	initial stiffness of timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.39	initial stiffness of fatchwork walls with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

3.69	average initial stiffness of half-timbered walls with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
3.88	average initial stiffness of half-timbered walls with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
6.41	initial stiffness of fatchwork walls with higher vertical load level (150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.49	residual cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.7	residual cyclic stiffness for fatchwork walls with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.74	residual cyclic stiffness for half-timbered walls with lower vertical load level (75kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
0.79	residual cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.17	residual cyclic stiffness for fatchwork walls with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.21	residual cyclic stiffness for half-timbered walls with higher vertical load level (150kN) at maximum drift	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.41	cyclic stiffness for half-timbered walls with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.58	cyclic stiffness for fatchwork walls with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.62	cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.62	cyclic stiffness for fatchwork walls with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.85	cyclic stiffness for half-timbered walls with higher vertical load level (150kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.89	cyclic stiffness for timber frame walls (no infill) with lower vertical load level (75kN) at maximum load	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
4.02	average compressive strength of mortar mixed by mason at time of cyclic test	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
4.5	average compressive strength of mortar mixed in lab conditions at 28 days	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
4.9	average compressive strength of mortar mixed in lab conditions at 56 days	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
28.58	compressive strength of wood with significant presence of knots	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
38.18	average compressive strength of wood	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
48.08	compressive strength of wood with few knots present	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Density • ρw [kg/m³]

Value	Description	Publication
590.37	test condition	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]

Value	Description	Publication
11042	average modulus of elasticity in compression parallel to the fibres	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Mortar

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
1.33	average bending strength of mortar at 28 days mixed in lab conditions	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.55	average bending strength of mortar at 56 days mixed in lab conditions	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
1.74	average bending strength of mortar (at time of cyclic test) mixed by mason during construction of walls	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
29.7	bending strength of wood with significant presence of knots and fissures	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
47.84	average bending strength of wood	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)
71.33	bending strength of wood with few knots and fissures	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Global modulus of elasticity in bending • Em,g [N/mm²]

Value	Description	Publication
10819	average value	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry => Wood

Local modulus of elasticity in bending • Em,l [N/mm²]

Value	Description	Publication
12018	mean value	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b). "Seismic behaviour and retrofitting of half-timbered walls: experimental results". University of Minho, 12-DEC/E-28. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.58		Vintzileou, E. (2008b). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry

Peak Strain • ε [x 10(-3)]

Value	Description	Publication
20.1		Vintzileou, E. (2008b). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.8		Vintzileou, E. (2008b). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry => Stone

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
50		Vintzileou, E. (2008b). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry => Wood

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
30	coniferous wood (strength class C30)	Vintzileou, E. (2008b). "Effect of timber ties on the behavior of historic masonry". ASCE, Journal of Structural Engineering, 134, 961-972. In English. (LAB TESTS)

A7.1.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Wall

Stone Masonry

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

In-Plane Failure

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined

Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		750.00 - 750.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.80 - 1.80
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.42 - 0.42
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
750	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.8	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.42	spitting test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2 358.00 - 2 358.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Out-of-Plane Overturning

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		750.00 - 750.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.80 - 1.80
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.42 - 0.42
Ductility	μ	[-]		no values defined
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Elastic modulus • E [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
750	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.			Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)
Compressive strength • fcns [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
1.8	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.			Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)
Tensile strength • ft [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
0.42	splitting test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.			Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)
Simple repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2358.00 - 2358.00
VALUES				
Reinforcement parameter values				
Elastic modulus • E [N/mm2]				

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Steel plates and hidden joints

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Wall => Stone Masonry => Single-Leaf

Out-of-Plane Flexure

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2358.00 - 2358.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		750.00 - 750.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.80 - 1.80
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.42 - 0.42
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy	Edis/Einp	[%]		no values defined

dissipation capacity				

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
750	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.8	Compression test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.42	spitting test on a specimen (120x165cm) composed by roubble materials samped from the internal layer of a pier and injected by micro-thin hydraulic mixture.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C., Tedeschi, C. (2000)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

In-Plane Failure

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		352.00 - 13 592.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		53.00 - 522.40
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.29 - 4.60
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		0.049 - 0.65
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.14 - 0.16
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		36.00 - 42.35

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1871.00 - 1871.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		12.50 - 12.50
Elastic modulus	E	[N/mm2]		7500.00 - 7500.00
Poisson´s Ratio	v	[-]		0.29 - 0.29
Tensile strength	ft	[N/mm2]		2.80 - 2.80
Ultimate loads	Q	[kN]		485.33 - 485.33

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
352		Dal Farra, V. (1992)
791		Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C., Rossi, P.P. (1993)
1350		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008)
1463		Toumbakari, E.E. (2002)
1785		Tomaževič, M., Apih, V. (1993)
2733		Valluzzi, M.R. (2000)
2962		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008)
3012		Modena, C. (1999)
3467		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997)
4001		Mazzon, N. (2010)
5164	Reinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3 (average value of monotonic and cyclic tests).	Silva, B. (2012)
7864		Vintzileou, E., Tassios, T.P. (1995)
13592		Anzani, A., Baronio, G., Binda, L. (1998)

Shear modulus • G [N/mm2]

Value	Description	Publication
53		Dal Farra, V. (1992)
111		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997)
142		Tomaževič, M., Apih, V. (1993)
268		Modena, C. (1999)
275		Tomaževič, M. (1992)
522.4		Silva, B. (2012)
522.4	Reinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests considering three different approaches (average value).	Silva, B. (2012)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.286		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008)
1.37		Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C., Rossi, P.P. (1993)
1.57		Tomaževič, M., Apih, V. (1993)
1.596		Modena, C. (1999)
2.398		Valluzzi, M.R. (2000)
3.133		Oliveira, D.V., Lourenço, P.B., Roca, P. (2006)
3.367		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997)
3.486		Toumbakari, E.E. (2002)
3.493		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008)
3.725		Vintzileou, E., Tassios, T.P.

		(1995)
4.6	Reinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3 (average value of monotonic and cyclic tests).	Silva, B. (2012)

Initial shear strength • fv0 [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.049		Dal Farra, V. (1992)
0.165		Tomaževič, M. (1992)
0.203		Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L., Borri, A. (2008)
0.222		Beolchini, G.C., Grillo, F., Ricciardulli, G. (1997)
0.237		Modena, C. (1999)
0.26		Vintzileou, E., Miltiadou-Fezans, A. (2008)
0.304		Tomaževič, M., Apih, V. (1993)
0.385		Mazzon, N. (2010)
0.642		Toumbakari, E.E. (2002)
0.65		Toumbakari, E.E., Van Gemert, D. (1997)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.138		Mazzon, N. (2010)
0.16	Reinforced three-leaf stone masonry in scale 1:1 and 2:3. Results obtained from the shear-compression tests (average value).	Silva, B. (2012)

Energy dissipation capacity • Edis/Einp [%]

Value	Description	Publication
36	Shear-compression tests on three-leaf stone masonry walls in scale 1:1 and 2:3 - Ultimate displacement limit state	Silva, B. (2012)
42.35		Mazzon, N. (2010)

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1871	Natural hydraulic lime grout - FEN-X\B	Silva, B. (2012)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
12.5	Natural hydraulic lime grout - FEN-X\B	Silva, B. (2012)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
7500	Natural hydraulic lime grout - FEN-X\B	Silva, B. (2012)

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.29	Natural hydraulic lime grout - FEN-X\B	Silva, B. (2012)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.8	Natural hydraulic lime grout - FEN-X\B	Silva, B. (2012)

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
485.33	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials. The specimen was repaired by injections	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006)

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2 358.00 - 3 592.00

Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Onset of cracking	σcr	[MPa]		0.58 - 0.65

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003)
3592	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003)

Reinforcement parameter values

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
0.58	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)
0.65	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Steel rods and additional nails and bolts

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		700.88 - 700.88

VALUES

Reinforcement parameter values

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
700.88	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular Serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials. The specimen was repaired by steel rods	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Out-of-Plane Overturning				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		485.33 - 520.17
VALUES				
Reinforcement parameter values				
Ultimate loads • Q [kN]				
Value	**Description**			**Publication**
485.33	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials. The specimen was repaired by injections.			Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006)
520.17	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular Noto stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials. The specimen was repaired by injection and steel rods.			Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006)
Transversal ties				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined

Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		3 592.00 - 3 592.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		2358.00 - 3592.00
Onset of cracking	σcr	[MPa]		0.58 - 0.65

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
3592	Double flat jack test on a masonry texture composed by roughly shaped stones with sub-horyzontal repointed joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003)

Reinforcement parameter values

Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)
3592	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
0.58	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)
0.65	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Out-of-Plane Flexure

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined

Elastic modulus	E	[N/mm2]		3 592.00 - 3 592.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2358.00 - 3592.00
Onset of cracking	σcr	[MPa]		0.58 - 0.65

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
3592	Double flat jack test on a masonry texture composed by roughly shaped stones with sub-horyzontal repointed joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2003)

Reinforcement parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2358	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)
3592	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Onset of cracking • σcr [MPa]

Value	Description	Publication
0.58	Double flat jack tests on a masonry wall built with regular stones (roughly shaped blocks) forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)
0.65	Double flat jack tests on a masonry wall built with irregular stones (roughly shaped blocks and pebbles) elements forming sub-horizontal joints.	Binda, L., Cantini, L., Tiraboschi, C. (2007)

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Wall => Stone Masonry => Multi-Leaf

Layer Separation

Grout injection

Transversal ties

Simple repointing

Brick Masonry

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

In-Plane Failure

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforced repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Simple repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1 528.00 - 3 350.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		3.70 - 22.20
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1528	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)

3350	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
3.7	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm) repaired through cement resin injections.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b)
7.3	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm) repaired through epoxy resin injections	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a)
10.3	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm) repaired through cement resin injections.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b)
10.4	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm) repaired through epoxy resin injections	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a)
14.18	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm) repaired trought resin injected in the cracks.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)
16.63	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm) repaired trought resin injected in the cracks.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)
21.2	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c)
22.2	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c)

Geotextiles at both faces, through-wall tied

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1 850.00 - 1 950.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1 000.00 - 12 000.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		5.50 - 27.00
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Mesh sizes	ms	[mm]		25.00 - 45.00
Tensile strength of polymer nets	ftn	[kN/m]		9.30 - 17.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1850		(2011)
1950		(2011)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		(2011)
12000		(2011)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
5.5		(2011)
27		(2011)

Reinforcement parameter values

Mesh sizes • ms [mm]

Value	Description	Publication
25		(2011)

45		(2011)

Tensile strength of polymer nets • ftn [kN/m]

Value	Description	Publication
9.3		(2011)
17		(2011)

Metallic strips and diagonals

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1 850.00 - 1 950.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1 000.00 - 12 000.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		7850.00 - 7850.00
Diameter	o	[mm]		4.00 - 4.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		210000.00 - 210000.00
Tensile strength	ft	[N/mm2]		1770.00 - 1770.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1850		(2011)
1950		(2011)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		(2011)
12000		(2011)

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
7850		(2011)

Diameter • o [mm]

Value	Description	Publication
4		(2011)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
210000		(2011)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
1770		(2011)

Wall => Brick Masonry => Single-Leaf

Out-of-Plane Overturning

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear	fv0	[N/mm2]		no values defined

strength				
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		3.70 - 22.20
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1528.00 - 3350.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
3.7	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm) repaired through cement resin injections.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b)
7.3	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm) repaired through epoxy resin injections	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a)
10.3	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with lime+cement mortar (250x250x600mm) repaired through cement resin injections.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990b)
10.4	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with pozzolanic mortar (250x250x600mm) repaired through epoxy resin injections	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990a)
14.18	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm) repaired trought resin injected in the cracks.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)
16.63	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm) repaired trought resin injected in the cracks.	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)
21.2	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c)
22.2	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement+acrilic resin mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990c)

Reinforcement parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1528	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)
3350	Monoaxial compression test on single leaf brick masonry prisms with cement mortar (250x250x600mm)	Binda, L., Baronio, G., Fontana, A. (1990d)

Reinforced repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive	fcns	[N/mm2]		no values defined

strength				
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Wall => Brick Masonry => Single-Leaf				
Out-of-Plane Flexure				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Wall => Brick Masonry => Single-Leaf				
Layer Separation				
Wooden horizontal chaining				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Peak Strain	ε	[x 10(-3)]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf				
In-Plane Failure				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Simple repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1 040.00 - 3 350.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.40 - 16.94
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		12.76 - 12.76
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.60 - 0.73
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Bond strength,	ftb	[MPa]		0.80 - 3.01

tensile				

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1040		Toumbakari, E.E. (2002a)
1400		Toumbakari, E.E. (2002c)
1560		Toumbakari, E.E. (2002b)
2528	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.4	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
2.91		Toumbakari, E.E. (2002c)
3		Toumbakari, E.E. (2002a)
3.15		Toumbakari, E.E. (2002b)
3.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
4	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
4.8	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower, injected by a resin based on cement and hydrated lime.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
5.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens (250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
5.9	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower, injected by a resin based on cement and hydrated lime.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
6.82	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar, injected with a resin based on cement and hydrated lime.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
6.9	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar, injected with a resin based on cement and silica fume.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
9.2	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar, injected with a resin based on cement and hydrated lime.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
10	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x600x1100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar, injected with a resin based on cement and silica fume.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
13.23	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in wet condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
14.97	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in wet condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
14.99	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in dry condition	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
16.94	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in dry condition.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Initial shear strength • fv0 [N/mm2]

Value	Description	Publication
12.76		Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.6		Toumbakari, E.E. (2002a)
0.73		Toumbakari, E.E. (2002b)

Reinforcement parameter values		
Bond strength, tensile • ftb [MPa]		
Value	**Description**	**Publication**
0.8		Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3.01		Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Reinforced concrete cooperating slab				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Out-of-Plane Overturning

Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Grout injection
Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2 500.00 - 3 350.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.40 - 16.94
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2500.00 - 3350.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2500	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.4	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
3.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
4	Monoaxial compression tests on brick masonry samples (400x500x700mm) from the ruins of a collapsed tower	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
5.6	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(250x500x100mm) built with solid bricks and hydraulic mortar	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993b)
13.23	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in wet condition	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
14.97	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in wet condition	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
14.99	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in dry condition	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
16.94	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins in dry condition	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Reinforcement parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2500	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Reinforced repointing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined

Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf

Out-of-Plane Flexure

Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Wall => Brick Masonry => Multi-Leaf				
Layer Separation				
Transversal ties				
Grout injection				
Artificial headers				
Wooden horizontal chaining				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		7.00 - 7.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		500.00 - 500.00
VALUES				
Reinforcement parameter values				
Compressive strength • fcns [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
7				Mohammed Adil, E.A. (2012)
Elastic modulus • E [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
500				Mohammed Adil, E.A. (2012)
Earthen Masonry				
Wall => Earthen Masonry => Adobe				

In-Plane Failure

Geotextiles at both faces, through-wall tied

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		2 000.00 - 2 000.00
Ductility	μ	[-]		1.08 - 1.28
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		5.50 - 5.50
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		0.021 - 0.021
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.040 - 0.060
Elastic modulus	E	[N/mm2]		3 500.00 - 3 500.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		0.048 - 0.048
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		80.15 - 86.04
Mesh sizes	ms	[mm]		25.00 - 45.00
Tensile strength of polymer nets	ftn	[kN/m]		9.30 - 19.20

VALUES

Post-intervention parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
2000		(2011)

Ductility • μ [-]

Value	Description	Publication
1.08		Wünsche, M., Pospíšil, S., Hračov, S., Urushadze, S. (2012)
1.28		Wünsche, M., Pospíšil, S., Hračov, S., Urushadze, S. (2012)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
5.5		(2011)

Initial shear strength • fv0 [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.021		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008)
0.021		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008)

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.04		Torrealva, D. (2009)
0.04		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008)
0.056		(2011)
0.06		(2011)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
3500		(2011)

Shear Strain • γ [-]

Value	Description	Publication
0.048		Torrealva, D. (2009)
0.048		Torrealva, D., Cerrón, C., Espinoza, Y. (2008)

Reinforcement parameter values		
Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
80.153		(2011)
86.04		(2011)
Mesh sizes • ms [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
25		(2011)
45		(2011)
Tensile strength of polymer nets • ftn [kN/m]		
Value	**Description**	**Publication**
9.3		(2011)
14		Torrealva, D. (2009)
17		(2011)
19.2		Torrealva, D. (2009)

Metallic strips and diagonals				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		2 000.00 - 2 000.00
Ductility	μ	[-]		1.10 - 1.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		5.50 - 5.50
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.075 - 0.079
Elastic modulus	E	[N/mm2]		3 500.00 - 3 500.00
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		7850.00 - 7850.00
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		107.80 - 113.11
Diameter	o	[mm]		4.00 - 4.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		210000.00 - 210000.00
Tensile strength	ft	[N/mm2]		1770.00 - 1770.00

VALUES

Post-intervention parameter values		
Apparent density • ρ [kg/m3]		
Value	**Description**	**Publication**
2000		(2011)
Ductility • μ [-]		
Value	**Description**	**Publication**
1.1		Wünsche, M., Pospíšil, S., Hračov, S., Urushadze, S. (2012)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
5.5		(2011)
Shear Strength • fv [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
0.075		(2011)
0.079		(2011)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
3500		(2011)

Reinforcement parameter values		
Apparent density • ρ [kg/m3]		
Value	**Description**	**Publication**
7850		(2011)
Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
107.8		(2011)
113.109		(2011)
Diameter • o [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
4		(2011)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
210000		(2011)
Tensile strength • ft [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
1770		(2011)

Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		108.00 - 134.00
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.035 - 0.065

VALUES

Post-intervention parameter values		
Shear strength recovery • fv(recovered) [%]		
Value	**Description**	**Publication**
108		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)
134		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)

Reinforcement parameter values		
Tensile strength • ft [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
0.035		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)
0.065		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)

Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined

Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.36 - 0.36
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		0.19 - 0.19
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.36		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012)

Shear Strain • γ [-]

Value	Description	Publication
0.192		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012)

Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Anchor rod yielding force	Fy,a	[kN]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined

Crack and void grouting

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear Strain	γ	[-]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

Wall => Earthen Masonry => Adobe

Out-of-Plane Flexure

Geotextiles at both faces, through-wall tied

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.77 - 0.77

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Mesh sizes	ms	[mm]		25.00 - 45.00
Tensile strength of polymer nets	ftn	[kN/m]		9.30 - 19.20

VALUES

Post-intervention parameter values

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.77		Torrealva, D. (2009)

Reinforcement parameter values

Mesh sizes • ms [mm]

Value	Description	Publication
25		(2011)
45		(2011)

Tensile strength of polymer nets • ftn [kN/m]

Value	Description	Publication
9.3		(2011)
14		Torrealva, D. (2009)
17		(2011)
19.2		Torrealva, D. (2009)

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength	ft	[N/mm2]		0.035 - 0.065

VALUES

Reinforcement parameter values

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.035		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)
0.065		Vargas, J., Blondet, M., Cancino, C. (2009)

Crack and void grouting

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ductility	μ	[-]		no values defined

Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ductility	μ	[-]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Wall => Earthen Masonry => Adobe				
Layer Separation				
Wooden horizontal chaining				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.35 - 1.35
VALUES				
Reinforcement parameter values				
Compressive strength • fcns [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
1.35				Mohammed Adil, E.A. (2012)
Monolithic Earth Materials				
Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth				
In-Plane Failure				
Crack and void grouting				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		0.16 - 0.16
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		22.00 - 22.00
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.55 - 0.55
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.00 - 4.50
Elastic modulus	E	[N/mm2]		0.40 - 1.40
Bond strength, tensile	ftb	[MPa]		0.013 - 0.034
VALUES				

Post-intervention parameter values		
Shear Strength • fv [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
0.16		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012)
Shear strength recovery • fv(recovered) [%]		
Value	**Description**	**Publication**
22		Miccoli, L., Müller, U., Silva, B., Da Porto, F., Hracov, S., Adami, C.E., Vintzileou, E., Vasconcelos, G., Poletti, E. (2012)
Reinforcement parameter values		
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
0.55		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
2		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
4.5		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
0.4		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
1.4		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
Bond strength, tensile • ftb [MPa]		
Value	**Description**	**Publication**
0.013		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
0.034		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined

Crack Stitching

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined

Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Steel mesh with cement plaster				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Geotextiles at both faces, through-wall tied				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear	fv0	[N/mm2]		no values defined

strength				
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement	ψ	[%]		no values defined

capacity				
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Shear strength recovery	fv(recovered)	[%]		no values defined
Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth				
Out-of-Plane Overturning				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Diaphragm				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Anchorage, Wall cross-ties				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Steel connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Buttresses				

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth				
Out-of-Plane Flexure				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Steel mesh with cement plaster				

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Geotextiles at both faces, through-wall tied				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Diaphragm				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Anchorage, Wall cross-ties				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Steel connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation	Edis/Einp	[%]		no values defined

capacity				
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined

Buttresses

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined

Crack and void grouting

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Initial shear strength	fv0	[N/mm2]		no values defined
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.55 - 0.55
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		2.00 - 4.50
Elastic modulus	E	[N/mm2]		0.40 - 1.40
Bond strength, tensile	ftb	[MPa]		0.013 - 0.034

VALUES

Reinforcement parameter values

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.55		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
2		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
4.5		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.4		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
1.4		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Bond strength, tensile • ftb [MPa]		
Value	**Description**	**Publication**
0.013		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)
0.034		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Wall => Monolithic Earth Materials => Rammed Earth

Layer Separation

Steel connection elements

Wooden horizontal chaining

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.50 - 1.50
Elastic modulus	E	[N/mm2]		300.00 - 300.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.5		Mohammed Adil, E.A. (2012)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
300		Mohammed Adil, E.A. (2012)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

In-Plane Failure

Crack and void grouting

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.55 - 0.55

VALUES

Reinforcement parameter values

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.55		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Post-tensioning of vertical strengthening

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined

Steel mesh with cement plaster

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined

Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Geotextiles at both faces, through-wall tied				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Reinforced openings with vertical and horizontal stiffeners				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Shear modulus	G	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Wall => Monolithic Earth Materials => Cob				
Out-of-Plane Overturning				

Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Dowelling to anchor internal walls to perpendicular external walls				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Diaphragm				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Anchorage, Wall cross-ties				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Steel connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**

Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Wall => Monolithic Earth Materials => Cob				
Out-of-Plane Flexure				
Post-tensioning of vertical strengthening				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Steel mesh with cement plaster				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Geotextiles at both faces, through-wall tied				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Diaphragm				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Grout injection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Reinforced repointing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Anchorage, Wall cross-ties				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Cables and straps				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Steel connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Crack and void grouting				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined

Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.55 - 0.55

VALUES

Reinforcement parameter values

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.55		Müller, U., Miccoli, L., Malaga, K. (2012)

Wall => Monolithic Earth Materials => Cob

Layer Separation

Steel connection elements

Wooden horizontal chaining

Timber Reinforced Masonry

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry

In-Plane Failure

Steel rods and additional nails and bolts

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.52 - 0.52

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Diameter	o	[mm]		8.00 - 8.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.52		Vintzileou, E. (2008c)

Reinforcement parameter values

Diameter • o [mm]

Value	Description	Publication
8		Vintzileou, E. (2008c)

Textile-reinforced mortar

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined

Steel plates and hidden joints

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry

Out-of-Plane Overturning

Steel plates and hidden joints

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined

Textile-reinforced mortar

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined

Steel rods and additional nails and bolts

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Additional connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry				
Out-of-Plane Flexure				
Steel plates and hidden joints				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Steel rods and additional nails and bolts				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Textile-reinforced mortar				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Timber flange connected by dowels to main beams				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber tied stone masonry				
Layer Separation				
Steel plates and hidden joints				
Steel rods and additional nails and bolts				
Textile-reinforced mortar				
Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry				
In-Plane Failure				
Steel rods and additional nails and bolts				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined
Textile-reinforced mortar				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined
Steel plates and hidden joints				

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined

Steel plates

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		2.85 - 4.07
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined

Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Diameter	o	[mm]		5.00 - 10.00
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Width of component element	w	[mm]		80.00 - 80.00

Effects of intervention on damage mechanism	
Title	**Description**
Failure of diagonals	When the steel plates link together the main elements (posts and beams) with the diagonals, the walls gain significant stiffness and the failure occurs in the weakest element in the walls, i.e. the overlapped connection in the diagonals. When this occurs, the wall develops a secondary out-of-plane mechanism, reducing the ductility and the displacement capacity of the wall.
Tearing-off of overlapped connections	When the steel plates link together only the main elements (posts and beams) without the diagonals, the wall exhibits a better shear behaviour, the overlapped connections do not opena and the diagonals are able to work better. Failure occurs when the overlapped connections of the central beam tear-off in tension due to the stresses applied there by the diagonals, but the steel plates are able to maintain the connection, thus guaranteeing a good post-peak behaviour.

VALUES

Post-intervention parameter values

Displacement capacity • ψ [%]		
Value	**Description**	**Publication**
2.85	timber frame wall (no infill) with lower vertical load level (75kN).	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
4.07	half-timbered walls with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Reinforcement parameter values

Diameter • o [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
5	screw diameter	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
10	bolts diameter	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)

Width of component element • w [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
80		Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)

Steel flat bars (NSM)

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**

Displacement capacity	ψ	[%]		4.09 - 5.53
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Anchorage length	la	[mm]		160.00 - 160.00
Tensile strength	ft	[N/mm2]		672.87 - 672.87
Tensile strength of structural glue	ft	[N/mm2]		13.99 - 13.99
Width of component element	w	[mm]		80.00 - 80.00
Yield strength	fy	[N/mm2]		420.79 - 420.79

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Tearing-off of overlapped connections	The steel flat bars inserted with the near surface mounted technique were able to guarantee a better shear behaviour of the walls. Timber elements were able to deform more without failing. Failure occurred when the steel flat bars failed in correspondence of the overlapped connections, thus leading to the failure of the connection.

VALUES

Post-intervention parameter values

Displacement capacity • ψ [%]

Value	Description	Publication
4.09	timber frame wall (no infill) with lower verticalload level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
4.37	half-timbered wall with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
5.53	half-timbered wall with higher vertical load level (150kN) at collapse	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Reinforcement parameter values

Anchorage length • la [mm]

Value	Description	Publication
160	anchorage length equivalent to 20 times the width of the flat bar	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
672.87	average value of tensile strength of steel flat bars ck45 steel	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Tensile strength of structural glue • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
13.99	average tensile strength of structural timber glu	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Width of component element • w [mm]

Value	Description	Publication
80		Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Yield strength • fy [N/mm2]

Value	Description	Publication
420.79	yield strength of steel flat bar ck45 steel	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Bolts

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Displacement capacity	ψ	[%]		4.28 - 4.40

Ductility	μ	[-]		1.99 - 2.55
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		0.13 - 0.15
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		2.16 - 2.47
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.53 - 1.75

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Diameter	o	[mm]		10.00 - 10.00
Width of component element	w	[mm]		80.00 - 80.00

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Tearing-off of overlapped connections	The intervention allows the wall to have a better shear behaviour, since the connections do not tend to open out-of-plane and are able to work until failure, which occurs when the overlapped connections in the central beam tear-off in tension.

VALUES

Post-intervention parameter values

Displacement capacity • ψ [%]

Value	Description	Publication
4.28	maximum drift of walls tested with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)
4.4	maximum drift of walls tested with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)

Ductility • μ [-]

Value	Description	Publication
1.99	ductility for walls with higher vertical load level (150kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
2.55	ductility for walls with lower vertical load level (75kN)	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Equivalent viscous damping • ζ [%]

Value	Description	Publication
0.13	vertical pre-compression of 75kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
0.15	vertical pre-compression of 150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
2.16	vertical pre-compression of 75kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
2.47	vertical pre-compression of 150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.53	residual cyclic stiffness, vertical pre-compression of 75kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
1.1	residual cyclic stiffness, vertical pre-compression of 150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)
1.75	cyclic stiffness at maximum load, vertical pre-compression of 150kN	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012b)

Reinforcement parameter values

Diameter • o [mm]

Value	Description	Publication
10		Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)

Width of component element • w [mm]

Value	Description	Publication
80	together with the width of the timber element, the presence of knots and fissures should be evaluated in order to position the bolts properly	Poletti, E., Vasconcelos, G. (2012a)

Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry

Out-of-Plane Overturning				
Steel plates and hidden joints				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Textile-reinforced mortar				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Steel rods and additional nails and bolts				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry				
Out-of-Plane Flexure				
Steel plates and hidden joints				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Steel rods and additional nails and bolts				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Textile-reinforced mortar				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Timber flange connected by dowels to main beams				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Displacement capacity	ψ	[%]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Wall => Timber Reinforced Masonry => Timber framed masonry				
Layer Separation				
Steel plates and hidden joints				
Steel rods and additional nails and bolts				
Textile-reinforced mortar				

A7.2 Elemento costruttivo “solaio”

A7.2.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali

Floor

Material	Typology	Inadequate out-of-plane bending strength and stiffness	Inadequate in-plane stiffness	Slipping at supports	Beam-vault separation
Timber	Simple unidirectional floor	Composite materials Timber flange connected by dowels to main beams Orthogonal or diagonal planking Reinforced concrete cooperating slab Cross beam built from the intrados of the existing wooden floor	Composite materials Metallic strips and diagonals Timber flange connected by dowels to main beams Orthogonal or diagonal planking Reinforced concrete cooperating slab Anchor bolts for semi-rigid connection	Additional connection elements	

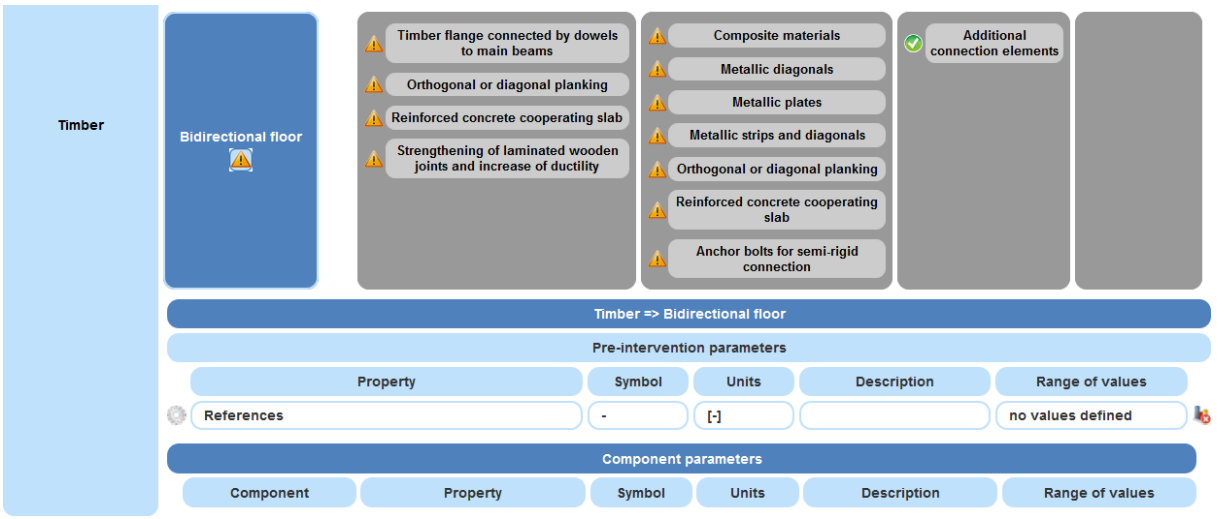
Timber => Simple unidirectional floor

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		410.00 - 410.00 (view)
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		6,700.00 - 6,700.00 (view)
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		330.00 - 330.00 (view)
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		0.80 - 1.43 (view)
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		19.28 - 58.75 (view)
Yield Force	Fy	[kN]		0.37 - 0.90 (view)
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		2.67 - 2.76 (view)
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		0.12 - 0.29 (view)
Ultimate loads	Q	[kN]		7.20 - 15.54 (view)
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.017 - 0.019 (view)
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		1.17 - 1.17 (view)
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		3.46 - 3.46 (view)
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		0.29 - 0.29 (view)
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		0.019 - 0.019 (view)
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Wood	Apparent density	ρ	[kg/m3]		455.00 - 455.00 (view)
Wood	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		44.00 - 44.00 (view)
Wood	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		66.00 - 66.00 (view)
Wood	Shear Strength	fv	[N/mm²]		no values defined



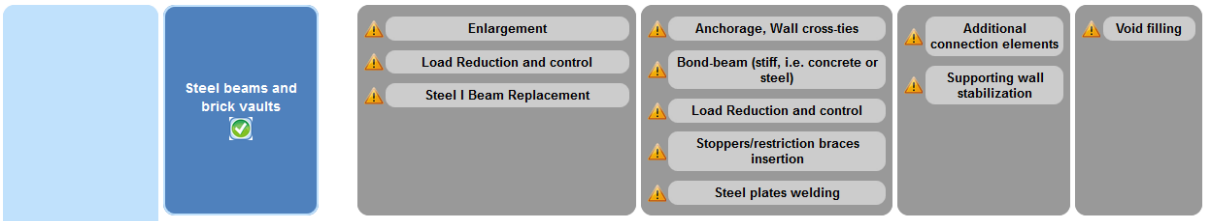
Timber => Bidirectional floor

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values



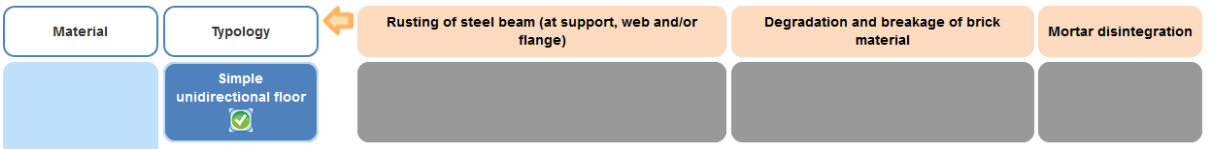
Steel => Steel beams and brick vaults

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Steel	Tensile strength	ft	[N/mm2]		183.00 - 390.00 (view)
Steel	Yield strength	fy	[N/mm2]		174.00 - 397.00 (view)



Timber => Simple unidirectional floor

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		410.00 - 410.00 (view)
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		6,700.00 - 6,700.00 (view)
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		330.00 - 330.00 (view)
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		0.80 - 1.43 (view)
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		19.28 - 58.75 (view)
Yield Force	Fy	[kN]		0.37 - 0.90 (view)
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		2.67 - 2.76 (view)
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		0.12 - 0.29 (view)
Ultimate loads	Q	[kN]		7.20 - 15.54 (view)
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.017 - 0.019 (view)
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		1.17 - 1.17 (view)
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		3.46 - 3.46 (view)
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		0.29 - 0.29 (view)
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		0.019 - 0.019 (view)
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined

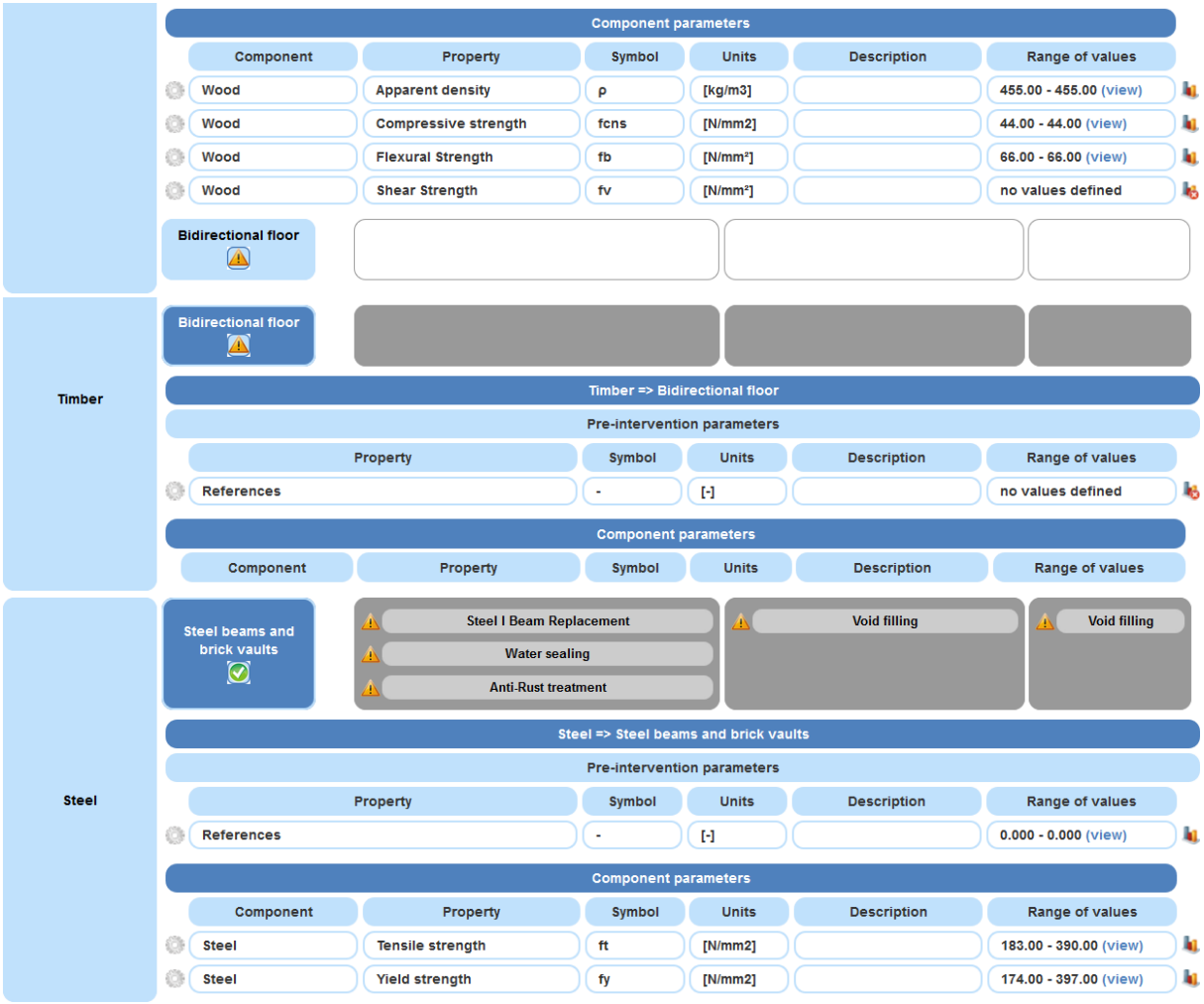


Figura 220: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "solaio"

A7.2.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
410		(2011). "Technical report: Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]

Value	Description	Publication
6700		(2011). "Technical report: Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Elastic modulus - perpendicular to the fibers • E/- [N/mm2]

Value	Description	Publication
330		(2011). "Technical report: Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". Institute of Theory and Applied Mechanics AS CR v.v.i.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.803	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.435	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
19.28		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006a). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam, from the intrados of the existing structure. In English. (LAB TESTS)
19.28		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006b). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with nails. In English. (LAB TESTS)
19.28		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006c). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and nails. In English. (LAB TESTS)
19.28		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006d). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and screws. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
30	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
58.75	The geometrical dimensions of the basic rectangular beams were b = 115 mm h=145mm, to which a flange of b=250mm h=50mm	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)
58.75	The geometrical dimensions of the basic rectangular beams were b = 115 mm h=145mm, to which a flange of b=250mm h=50mm	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Yield Force • Fy [kN]

Value	Description	Publication
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.371	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)

0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.901	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Yield displacement (yielding point) • Vy [mm]

Value	Description	Publication
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)

2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.668	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
2.756	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.123	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.288	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006a). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam, from the intrados of the existing structure. In English. (LAB TESTS)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006b). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with nails. In English. (LAB TESTS)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006c). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and nails. In English. (LAB TESTS)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006d). "An intrados technique for flexural strengthening of timber floors". 9th World Conference on Timber Engineering - WCTE 2006. Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and screws. In English. (LAB TESTS)
12.54	The geometrical dimensions of the basic rectangular beams were b = 115 mm h=145mm	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)
12.54	The geometrical dimensions of the basic rectangular beams were b = 115 mm h=145mm	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)
15.54	The geometrical dimensions of the basic rectangular beams were b = 115 mm h=145mm	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012i). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012k). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012m). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012o). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012q). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012s). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012u). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012w). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012y). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.017	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ac). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012aa). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FC net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Shear Yield Force • Fyt [kN]

Value	Description	Publication
1.173	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

1.173	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
1.173	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
1.173	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
1.173	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Shear Yield Displacement • Vyt [mm]

Value	Description	Publication
3.457	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

3.457	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
3.457	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
3.457	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
3.457	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

In-plane shear stiffness (elastic) • Kyt [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.293	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

In-plane shear stiffness (plastic) • Kut [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012h). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012j). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(33). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012l). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° SP(40). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012n). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM+45° DP(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012p). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Steel D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012r). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012t). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM CFRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (ON SITE TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012v). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM SRP D. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012x). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net Wood D(25). GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012z). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HE. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)
0.019	GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm.	(2012ab). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. FM net HV. GEOMETRIC FEATURES.Timber slabs (220×220 cm), Five beams (12x14 cm), Tongue and groove planking w=135 mm t=20 mm. STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor => Wood

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
455	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)
455	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)
455	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor => Wood

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
44	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)
44	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)
44	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor => Wood

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
66	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side. In English. (LAB TESTS)
66	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside. In English. (LAB TESTS)
66	Rectangular beams, planks, and boarding.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c). "Flexural strengthening of timber beams by traditional and innovative techniques". Journal of building appraisal, 3, 125-143. Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.. In English. (LAB TESTS)

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults => Steel

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
183		Vidovszky, I. (2007). "Investigations of 18-19th Century Manually Forged Iron Elements of Building Structures". Ph.D. thesis, Budapest University of Technology and Economics. In English. (LAB TESTS)
390		Vidovszky, I. (2007). "Investigations of 18-19th Century Manually Forged Iron Elements of Building Structures". Ph.D. thesis, Budapest University of Technology and Economics. In English. (LAB TESTS)

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults => Steel

Yield strength • fy [N/mm2]

Value	Description	Publication
174		Vidovszky, I. (2007). "Investigations of 18-19th Century Manually Forged Iron Elements of Building Structures". Ph.D. thesis, Budapest University of Technology and Economics. In English. (LAB TESTS)
397		Vidovszky, I. (2007). "Investigations of 18-19th Century Manually Forged Iron Elements of Building Structures". Ph.D. thesis, Budapest University of Technology and Economics. In English. (LAB TESTS)

A7.2.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Floor				
Timber				
Floor => Timber => Simple unidirectional floor				
Inadequate out-of-plane bending strength and stiffness				
Orthogonal or diagonal planking				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		410.00 - 410.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		6700.00 - 6700.00
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		330.00 - 330.00
VALUES				
Reinforcement parameter values				
Apparent density • ρ [kg/m3]				
Value	**Description**			**Publication**
410				(2011)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
6700				(2011)
Elastic modulus - perpendicular to the fibers • E/- [N/mm2]				
Value	**Description**			**Publication**
330				(2011)
Timber flange connected by dowels to main beams				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		110.00 - 117.00
Ultimate loads	Q	[kN]		43.90 - 43.90
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Apparent density	ρ	[kg/m3]		455.00 - 455.00
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		58.00 - 58.00
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		121.00 - 121.00
Shear Strength	fv	[N/mm²]		19.00 - 19.00
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Ultimate displacement • Vmax [mm]				

Value	Description	Publication
110	Compound timber beams strengthened by CFRP sheets on the underside	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b)
117	Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
43.9	Plain compound beams preliminarily strengthened on the upper side.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
455	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)
455	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
58	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)
58	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b)

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
121	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)
121	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b)

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
19	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007a)
19	Dowels.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007b)

Composite materials

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		129.00 - 129.00
Ultimate loads	Q	[kN]		25.11 - 25.11
References	-	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Ultimate deformation	ε frp	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
129	Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c)

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
25.11	Rectangular-section beams strengthened by gluing CFRP sheets covering the base at the intrados for 100 mm.	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2007c)

Reinforced concrete cooperating slab

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Cross beam built from the intrados of the existing wooden floor				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		12.71 - 15.73
Ultimate loads	Q	[kN]		7.20 - 7.20
References	-	[-]		no values defined
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Ultimate displacement • Vmax [mm]				

Value	Description	Publication
12.71	Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and screws	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006d)
15.24	Cross beam connected at the intrados of the existing structure with steel plates and nails	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006c)
15.73	Cross beam, from the intrados of the existing structure	Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006a)

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006a)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006b)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006c)
7.2		Valluzzi, M.R., Garbin, E., Modena, C. (2006d)

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Inadequate in-plane stiffness

Orthogonal or diagonal planking

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		410.00 - 410.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		6 700.00 - 6 700.00
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		330.00 - 330.00
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		16.08 - 22.59
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		30.00 - 30.00
Yield Force	Fy	[kN]		12.06 - 17.86
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		8.28 - 21.16
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		0.79 - 1.72
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.13 - 0.29

Shear Yield Force	Fyt	[kN]		3.12 - 15.50
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		0.071 - 7.37
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		9.31 - 19.25
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		0.47 - 7.70
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
410		(2011)

Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]

Value	Description	Publication
6700		(2011)

Elastic modulus - perpendicular to the fibers • E/- [N/mm2]

Value	Description	Publication
330		(2011)

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
16.08	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
16.403	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
16.918	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012i)
16.961	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
17.132	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
17.63	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
17.664	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)
22.59	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
30	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
30	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012i)
30	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
30	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
30	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
30	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
30	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
30	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)

Yield Force • Fy [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
12.061	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012i)
12.33	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
12.61	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
12.989	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
14.031	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
15.882	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)
16.589	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
17.86	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
Yield displacement (yielding point) • Vy [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
8.285	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012i)
8.758	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
8.912	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
9.19	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
9.538	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
10.848	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)
10.87	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
21.162	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.787	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
1.176	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
1.215	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
1.247	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
1.358	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012i)
1.387	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)
1.511	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
1.719	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.131	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
0.196	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
0.202	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012k)
0.208	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
0.226	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING	(2012i)

	CONDITION: Cyclic test.	
0.231	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012o)
0.252	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012m)
0.287	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
Shear Yield Force • Fyt [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
3.121	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
6.786	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012p)
10.531	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
11.195	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
14.053	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
14.794	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
15.501	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
Shear Yield Displacement • Vyt [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.071	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
0.261	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
0.516	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
0.959	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
1.316	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
5.172	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
7.374	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012p)
In-plane shear stiffness (elastic) • Kyt [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
9.309	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
9.949	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
16.964	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
19.254	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)
In-plane shear stiffness (plastic) • Kut [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.473	STRENGTHENING: Simple planking t=25mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012h)
0.846	STRENGTHENING: Simple planking t=40mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012l)
2.827	STRENGTHENING: Simple planking t=33mm at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012j)
7.702	STRENGTHENING: Double planking t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012n)

Anchor bolts for semi-rigid connection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the	E//	[N/mm2]		no values defined

direction of fibers				
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Yield Force	Fy	[kN]		no values defined
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		no values defined
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Metallic strips and diagonals				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		7.05 - 8.69
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		30.00 - 30.00
Yield Force	Fy	[kN]		6.12 - 8.13
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		14.93 - 17.98
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		0.41 - 0.43
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.068 - 0.071
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		no values defined
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		0.93 - 0.93
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		0.15 - 0.15
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]				
Value	**Description**			**Publication**

7.045	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)
8.686	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
30	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)
30	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)

Yield Force • Fy [kN]

Value	Description	Publication
6.118	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)
8.134	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)

Yield displacement (yielding point) • Vy [mm]

Value	Description	Publication
14.928	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)
17.983	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.409	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)
0.426	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)

In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.068	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)
0.071	STRENGTHENING: Steel Diagonal at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012q)

In-plane shear stiffness (elastic) • Kyt [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.925	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)

In-plane shear stiffness (plastic) • Kut [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.154	STRENGTHENING: Steel Diagonal at +45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012p)

Composite materials

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		5.00 - 8.41
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		6.83 - 24.88
Yield Force	Fy	[kN]		2.67 - 4.99
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		0.65 - 2.28
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		1.42 - 7.66
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		0.24 - 1.28
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		no values defined
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		no values defined
In-plane shear stiffness	Kyt	[kN/mm]		no values defined

(elastic)				
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Ultimate deformation	ε frp	[%]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
5.002	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
5.139	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
6.149	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
6.218	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
6.336	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
6.534	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
6.568	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)
8.409	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
6.83	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)
10.59	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
10.85	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
22.02	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
22.44	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
22.76	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
24.69	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
24.88	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)

Yield Force • Fy [kN]

Value	Description	Publication
2.671	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
2.69	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
3.157	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
3.197	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
3.737	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
3.814	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
4.238	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)
4.985	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)

Yield displacement (yielding point) • Vy [mm]

Value	Description	Publication
0.651	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)
1.297	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
1.445	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
1.54	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
1.55	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
1.59	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)
1.593	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
2.283	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
1.416	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
1.498	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
1.828	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
1.853	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
2.808	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
2.878	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)
3.414	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
7.657	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)
In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.237	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012ac)
0.25	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012v)
0.305	STRENGTHENING: Hemp Fibers with vinil glue matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012ab)
0.309	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012t)
0.468	STRENGTHENING: SRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012w)
0.48	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012z)
0.569	STRENGTHENING: Hemp Fibers with epoxy matrix at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012aa)
1.276	STRENGTHENING: CFRP ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012u)

Timber flange connected by dowels to main beams

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		3.60 - 20.62
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		30.00 - 30.00
Yield Force	Fy	[kN]		2.91 - 17.62
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		8.17 - 14.03
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		0.27 - 1.71
In-plane global stiffness	Ku	[kN/mm]		0.040 - 0.28

(plastic)				
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		no values defined
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		0.54 - 44.10
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		0.060 - 7.35
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
3.6	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
6.35	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012s)
19.934	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)
20.616	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
30	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
30	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012s)
30	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
30	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)

Yield Force • Fy [kN]

Value	Description	Publication
2.91	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
5.56	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012s)
14.582	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)
17.621	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)

Yield displacement (yielding point) • Vy [mm]

Value	Description	Publication
8.17	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)
10.08	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
10.81	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012s)
14.033	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)

In-plane global stiffness (elastic) • Ky [kN/mm]

Value	Description	Publication
0.27	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
0.47	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING	(2012s)

	CONDITION: Cyclic test.	
1.219	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
1.708	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)
In-plane global stiffness (plastic) • Ku [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.04	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
0.08	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012s)
0.203	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
0.285	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Cyclic test.	(2012y)
In-plane shear stiffness (elastic) • Kyt [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.542	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
44.103	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)
In-plane shear stiffness (plastic) • Kut [kN/mm]		
Value	**Description**	**Publication**
0.06	STRENGTHENING: Wooden diagonal t=25mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012r)
7.35	STRENGTHENING: Wooden diagonal net t=50mm at ±45°. LOADING CONDITION: Monotonic test.	(2012x)

Reinforced concrete cooperating slab

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Yield Force	Fy	[kN]		no values defined
Yield displacement (yielding point)	Vy	[mm]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
In-plane global stiffness (plastic)	Ku	[kN/mm]		no values defined
Shear Yield Force	Fyt	[kN]		no values defined
Shear Yield Displacement	Vyt	[mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (elastic)	Kyt	[kN/mm]		no values defined
In-plane shear stiffness (plastic)	Kut	[kN/mm]		no values defined
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined
References	-	[-]		no values defined

Floor => Timber => Simple unidirectional floor

Slipping at supports

Additional connection elements

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Ahnert, R., Krause, K.H. (1991)
0		Pisani, M.A. (2009)
0		Giuffrè, A. (1993)
0		Barbisan, U., Franco, L. (1994)

Floor => Timber => Bidirectional floor				
Inadequate out-of-plane bending strength and stiffness				
Reinforced concrete cooperating slab				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Orthogonal or diagonal planking				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Timber flange connected by dowels to main beams				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Strengthening of laminated wooden joints and increase of ductility				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Floor => Timber => Bidirectional floor				
Inadequate in-plane stiffness				
Reinforced concrete cooperating slab				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Metallic plates				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**

Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Metallic diagonals				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Metallic strips and diagonals				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Orthogonal or diagonal planking				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Composite materials				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Ultimate deformation	ε frp	[%]		no values defined
Anchor bolts for semi-rigid connection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus - perpendicular to the fibers	E/-	[N/mm2]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Floor => Timber => Bidirectional floor				
Slipping at supports				
Additional connection elements				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				
References • [-]				
Value	**Description**			**Publication**

0		Ahnert, R., Krause, K.H. (1991)
0		Barbisan, U., Franco, L. (1994)
0		Giuffrè, A. (1993)
0		Pisani, M.A. (2009)

Steel

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults

Inadequate out-of-plane bending strength and stiffness

Load Reduction and control

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Enlargement

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Steel I Beam Replacement

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults

Inadequate in-plane stiffness

Stoppers/restriction braces insertion

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Anchorage, Wall cross-ties

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Bond-beam (stiff, i.e. concrete or steel)

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Load Reduction and control

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Steel plates welding

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults

Slipping at supports

Additional connection elements

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Supporting wall stabilization

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults

Beam-vault separation

Void filling

Floor => Steel => Steel beams and brick vaults

Rusting of steel beam (at support, web and/or flange)
Water sealing
Anti-Rust treatment
Steel I Beam Replacement
Floor => Steel => Steel beams and brick vaults
Degradation and breakage of brick material
Void filling
Floor => Steel => Steel beams and brick vaults
Mortar disintegration
Void filling

A7.3 Elemento costruttivo “copertura”

A7.3.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali

Roof

Material	Typology	Inadequate bending strength and stiffness	Inadequate in-plane stiffness	Slipping at supports	Material degradation
Timber	Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)	Bond-beam (flexible, i.e. timber); Application of FRP composite strips glued to the surface; Cables and straps			Bond-beam (flexible, i.e. timber)

Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Moisture	w	[%]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Wood	Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Wood	Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Wood	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Wood	Moisture	w	[%]		no values defined
Steel	Yield strength	fy	[N/mm2]		no values defined

Material	Typology	Inadequate bending strength and stiffness	Inadequate in-plane stiffness	Slipping at supports	Material degradation
Timber	Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)		Additional connection elements		

Timber => Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Material	Typology	Inadequate bending strength and stiffness	Inadequate in-plane stiffness	Slipping at supports	Material degradation
Timber	Thrusting structure		Ties beams or Ties rods	Ties beams or Ties rods	

Timber => Thrusting structure

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Wood	Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined

Steel

Truss structure

Steel => Truss structure

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Material	Typology	Out-of-plane instability	Joints failure

Timber

Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)

Out-of-plane instability: Transversal ties; Diaphragm

Joints failure: Metallic plates; Metallic strips and diagonals; Application of FRP composite strips glued to the surface; Anchor bolts for semi-rigid connection

Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Moisture	w	[%]		no values defined
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Wood	Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Wood	Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Wood	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		no values defined
Wood	Moisture	w	[%]		no values defined
Steel	Yield strength	fy	[N/mm2]		no values defined

Timber

Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)

Diaphragm

Timber => Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Timber

Thrusting structure

Diaphragm

Timber => Thrusting structure

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Wood	Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined

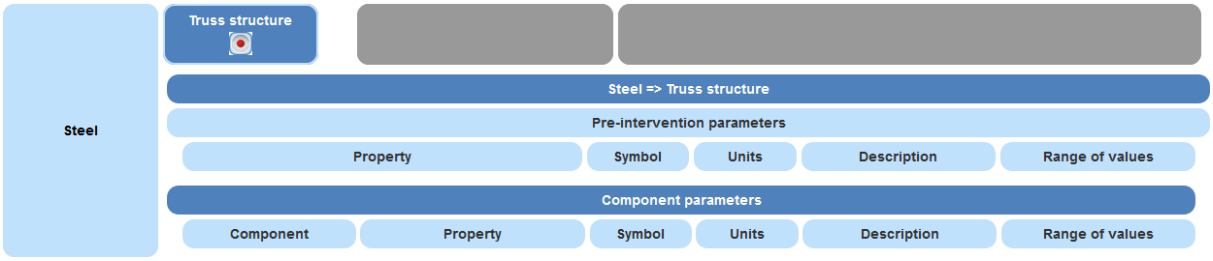


Figura 221: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "copertura"

A7.3.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali

Il "data warehouse" non contiene alcun valore pre-intervento di parametri misurabili.

A7.3.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Roof				
Timber				
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)				
Inadequate bending strength and stiffness				
Application of FRP composite strips glued to the surface				
Cables and straps				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Apparent density	ρ	[kg/m3]		no values defined
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		no values defined
Bond Strength (Adhesion, Tensile)	fu	[N/mm²]		no values defined
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)				
Material degradation				
Bond-beam (flexible, i.e. timber)				
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)				
Out-of-plane instability				
Transversal ties				
Diaphragm				
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter under flexure)				
Joints failure				
Anchor bolts for semi-rigid connection				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Application of FRP composite strips glued to the surface				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined

Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Metallic plates				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Metallic strips and diagonals				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
In-plane global stiffness (elastic)	Ky	[kN/mm]		no values defined
Ductility	μ	[-]		no values defined
Equivalent viscous damping	ζ	[%]		no values defined
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)				
Inadequate in-plane stiffness				
Additional connection elements				
Roof => Timber => Non thrusting structure - truss (rafter without flexure)				
Out-of-plane instability				
Diaphragm				
Roof => Timber => Thrusting structure				
Inadequate in-plane stiffness				
Ties beams or Ties rods				
Roof => Timber => Thrusting structure				
Slipping at supports				
Ties beams or Ties rods				
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength	ft	[N/mm2]		no values defined
Yield strength	fy	[N/mm2]		no values defined
Roof => Timber => Thrusting structure				
Out-of-plane instability				
Diaphragm				
Steel				

A7.4 Elemento costruttivo “arco / volta”

A7.4.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali

Arch / Vault

Material	Typology	Displacement of the supports	Differential settlement of the piers	Longitudinal sliding	Load variation
	Arch and barrel vault	Buttresses Extrados r.c. jacketing FRP/SRP/SRG application on vaults Ties beams or Ties rods Extrados stiffening elements (frenelli) Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG	Buttresses Extrados r.c. jacketing FRP/SRP/SRG application on vaults Ties beams or Ties rods Extrados stiffening elements (frenelli) Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG	Extrados r.c. jacketing Extrados stiffening elements (frenelli) Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG	Extrados r.c. jacketing Reducing the loads from extrados infilling Extrados stiffening elements (frenelli) Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG

Brick - Stone => Arch and barrel vault

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		0.37 - 1.68 (view)
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		75.00 - 75.00 (view)
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		68.00 - 68.00 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		5.50 - 5.50 (view)
Bond strength - By wrench test	fw	[N/mm2]		0.20 - 0.20 (view)
References	-	[-]		17.39 - 17.39 (view)

Brick - Stone

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Solid brick	Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,785.00 - 1,785.00 (view)
Solid brick	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		17.39 - 17.68 (view)
Solid brick	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.53 - 4.43 (view)
Bricks with holes	Water absorption - Total	wm	[%]		17.60 - 17.60 (view)
Bricks with holes	Water absorption - Inital rate	cwi,s	[kg/(m2·min)]		1.30 - 1.30 (view)
Bricks with holes	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		27.30 - 27.30 (view)
Mortar	Elastic modulus	E	[N/mm2]		133.00 - 3,570.00 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.78 - 6.03 (view)
Mortar	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.23 - 0.74 (view)

Brick - Stone

Brick - Stone => Groin vault

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Brick - Stone => Cloister vault

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

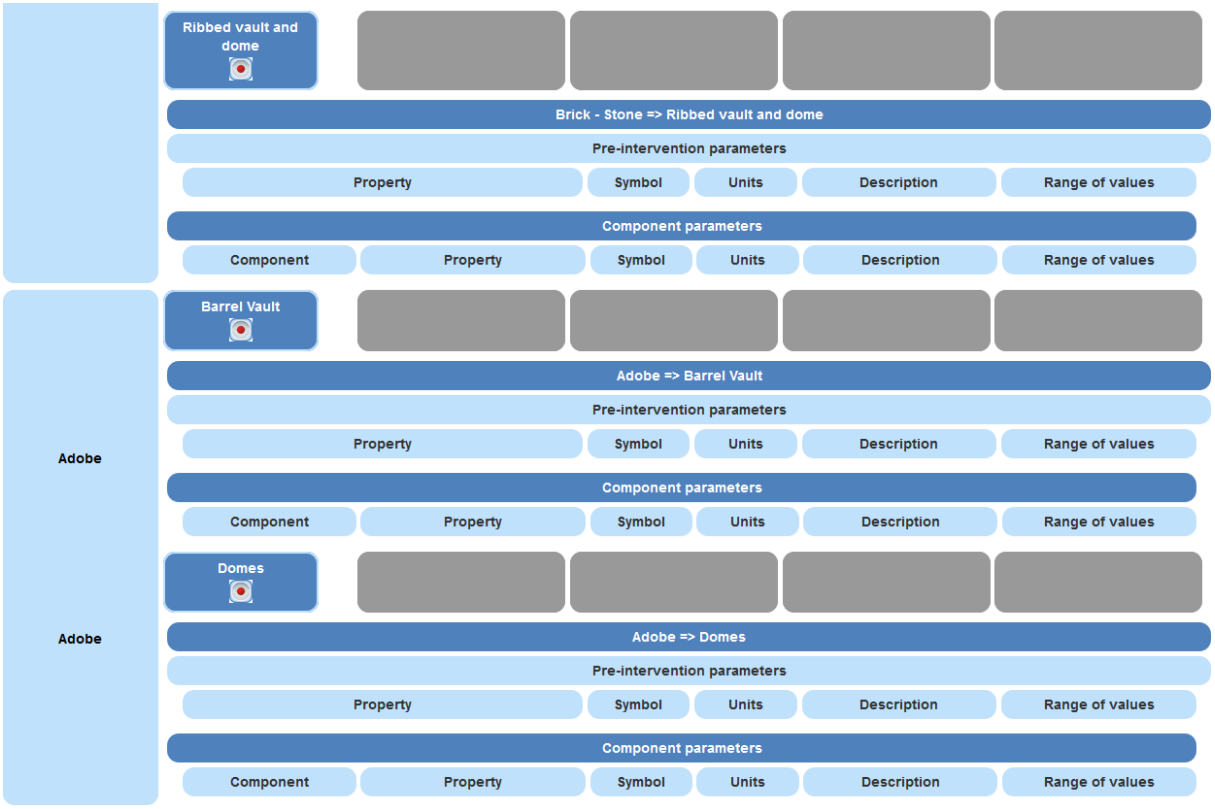


Figura 222: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "arco / volta"

A7.4.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
0.367	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a). "Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates". Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 3, 163-169. Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)
0.367	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b). "Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates". Journal of Composites for Construction, (5):3, 163-169. Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm). In English. (LAB TESTS)
0.367	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c). "Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates". Journal of Composites for Construction, (5):3, 163-169. Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 25 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 12,5 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 25 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Intrados CFRP width 12,5 mm. In English. (LAB TESTS)
0.45	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Locally CFRP. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006a). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Extrados CFRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006b). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Extrados SRG width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006c). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Extrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006d). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Extrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)

0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006e). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Intrados CFRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006f). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Intrados SRG width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006g). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Intrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006h). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Intrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006i). "Strengthening of masonry elements with innovative composite laminates". University of Perugia. Extrados SRG width 150 mm + Intrados SRP width 150 mm. In English. (LAB TESTS)
1.24	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010a). "Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system". University of Bilbao. Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)
1.24	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010b). "Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system". University of Bilbao. Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)
1.24	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010c). "Rehabilitation of masonry arches by a compatible and minimally invasive strengthening system". University of Bilbao. Extrados + Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. In English. (LAB TESTS)
1.4	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
1.4	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012b). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
1.4	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012c). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface + 8 Basalt spikes. In English. (LAB TESTS)
1.4	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012d). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRP width 220 mm (2 strips x 110 mm, with 94 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
1.4	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012e). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss CFRP width 240 mm (2 strips x 120 mm) + 4 Basalt spikes. In English. (ON SITE TESTS)
1.5	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)
1.68	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007a). "Strengthening of arched masonry structures with composite materials". University of Minho. Extrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). In English. (LAB TESTS)
1.68	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007b). "Strengthening of arched masonry structures with composite materials". University of Minho. Extrados GFRP width 160 mm (2 strips x 80 mm). In English. (LAB TESTS)
1.68	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007c). "Strengthening of arched masonry structures with composite materials". University of Minho. Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). In English. (LAB TESTS)

1.68	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007d). "Strengthening of arched masonry structures with composite materials". University of Minho. Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm) + Spikes. In English. (LAB TESTS)
1.68	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007e). "Strengthening of arched masonry structures with composite materials". University of Minho. Locally GFRP width 160 mm (2 strips x850 mm). In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
75	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Ultimate deflection at arch crown • du [mm]

Value	Description	Publication
68	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
5.5	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Bond strength - By wrench test • fw [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.2	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Solid brick

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1785		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Solid brick

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
17.39		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
17.68		(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Solid brick

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
3.53		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
4.43		(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Bricks with holes

Water absorption - Total • wm [%]

Value	Description	Publication
17.6	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Bricks with holes

Water absorption - Inital rate • cwi,s [kg/(m2·min)]

Value	Description	Publication
1.3	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Bricks with holes

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
27.3	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Mortar

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
133		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
3570		(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.78		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
1	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate.	Ng, P.Y. (2008). "SRP Strengthening of Masonry Arches on Spreading Supports.". Master Dissertation - University of Bath. In English. (LAB TESTS)
1.75		(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)
6.03		Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a). "Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates". Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 3, 163-169. Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault => Mortar

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.23		Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a). "Towards a methodology for estimating strength and collapse mechanism in masonry arches strengthened with fibre reinforced polymer applied on external surfaces". Materials and Structures, 41, 1291-1306. Extrados CFRP width 50 mm. In English. (LAB TESTS)
0.389		Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a). "Behavior of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates". Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 3, 163-169. Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). In English. (LAB TESTS)
0.74		(2012a). "Parametric assessment and optimized design procedures for floors and vaults". University of Padova. Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. In English. (LAB TESTS)

A7.4.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Arch / Vault				
Brick - Stone				
Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault				
Displacement of the supports				
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		no values defined
VALUES				
Post-intervention parameter values				
FRP/SRP/SRG application on vaults				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		0.70 - 33.00
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		62.00 - 150.00
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		60.00 - 68.00
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		1700.00 - 3500.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		50000.00 - 240000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.40 - 4.30
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00
Effects of intervention on damage mechanism				
Title	**Description**			
Change in damage mechanism	For intrados application of SRP it is observed that the damage mechanism changes to debonding of fibres			
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Ultimate loads • Q [kN]				
Value	**Description**			**Publication**
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Locally CFRP. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
1.8	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded at the arch extrados.			Ng, P.Y. (2008)
2.9	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm			Ng, P.Y. (2008)

	t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded to arch intrados.	
2.96	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Locally GFRP width 160 mm (2 strips x850 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007e)
3.17	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Extrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007a)
3.44	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Extrados GFRP width 160 mm (2 strips x 80 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007b)
3.56	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 12,5 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
4.45	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007c)
4.52	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 25 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
4.61	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm) + Spikes. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Basilio, I. (2007d)
5.87	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 12,5 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
6.58	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 50 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
7.13	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 25 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
8.59	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 50 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
9.2	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006b)
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
11.31	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010b)
11.5	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados CFRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006a)
12.02	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface + 8 Basalt spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012c)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012f)
12.3	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados CFRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006e)
12.81	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss CFRP width 240 mm (2 strips x 120 mm) + 4	(2012e)

	Basalt spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	
13.3	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006d)
13.47	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012a)
14.55	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
14.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006h)
14.97	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012b)
15.35	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
16.2	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRG width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006f)
16.26	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010a)
19.98	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
21.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006g)
23.5	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006c)
24.64	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRP width 220 mm (2 strips x 110 mm, with 94 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012d)
26.1	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Extrados + Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010c)
33	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm + Intrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006i)
Ultimate displacement • Vmax [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
62	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded at arch intrados.	Ng, P.Y. (2008)
150	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded at arch extrados.	Ng, P.Y. (2008)
Ultimate deflection at arch crown • du [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
60	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm	Ng, P.Y. (2008)

	t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded to arch intrados.	
68	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded to arch extrados,	Ng, P.Y. (2008)

Reinforcement parameter values

Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]

Value	Description	Publication
1700	Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
1735	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
2230	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. FRP strips bonded to either arch intrados or arch extrados.	Ng, P.Y. (2008)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007a)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007b)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007c)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007d)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007e)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
3430	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
3430	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L.

		(2008c)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
3500	High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	(2012e)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
65000	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007a)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007b)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007c)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007d)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007e)
95000	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
153565	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGHTENING. SRP strips bonded to either intrados or extrados of arch.	Ng, P.Y. (2008)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
230000	CFRP	Castori, G. (2006a)
230000	CFRP	Castori, G. (2006e)
230000	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
230000	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)

230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
240000	High tenacity unidirectional carbon sheet for structural strengthening	(2012e)
Ultimate deformation • ε frp [%]		
Value	**Description**	**Publication**
1.4	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
1.45	High tenacity unidirectional carbon sheet for structural strengthening	(2012e)
1.5	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
1.5	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
1.93	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
2.1	CFRP	Castori, G. (2006a)
2.1	CFRP	Castori, G. (2006e)
2.6	SPECIMEN: COMPONENTS. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes on three rows. NHL 3.5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:3. GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 11.5 cm w = 50 cm t/s = 0.0575. LOADING CONDITIONS. Pseudo-static test, distributed load. Spreading supports are simulated by leaving one of the two arch supports free to move away from the other as consequence of the thrust due to the distributed load. Supports movement are controlled so as to be at constant rate. STRENGTHENING. SRP strips bonded to either intrados or extrados of arch.	Ng, P.Y. (2008)
2.8	Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm)	Valluzzi, M.R.,

		Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007a)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007b)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007c)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007d)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007e)
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012a)
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012b)
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012c)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012a)
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012b)
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012c)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012a)
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012b)
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012c)

Ties beams or Ties rods

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli)

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		no values defined

VALUES				
Post-intervention parameter values				
Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		11.00 - 12.15
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined
Ultimate deflection at arch crown	du	[mm]		no values defined
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		2820.00 - 3070.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		190000.00 - 190000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.60 - 1.60
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00

VALUES		
Post-intervention parameter values		
Ultimate loads • Q [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012f)
Reinforcement parameter values		
Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Ultimate deformation • ε frp [%]		
Value	**Description**	**Publication**
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault		

Differential settlement of the piers				
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined
VALUES				
Post-intervention parameter values				
FRP/SRP/SRG application on vaults				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Ultimate loads	Q	[kN]		0.70 - 33.00
Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		1700.00 - 3500.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		50000.00 - 240000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.40 - 4.30
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00
VALUES				
Post-intervention parameter values				
Ultimate loads • Q [kN]				
Value	**Description**			**Publication**
0.7	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Locally CFRP. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
2.96	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Locally GFRP width 160 mm (2 strips x850 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.			Basilio, I. (2007e)
3.17	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Extrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.			Basilio, I. (2007a)
3.44	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Extrados GFRP width 160 mm (2 strips x 80 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.			Basilio, I. (2007b)
3.56	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 12,5 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
4.45	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.			Basilio, I. (2007c)
4.52	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 25 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
4.61	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 150 cm t = 5 cm w = 50 cm t/s = 0.0354 Reinforcement: Intrados GFRP width 100 mm (2 strips x 50 mm) + Spikes. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.			Basilio, I. (2007d)
5.87	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 12,5 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
6.58	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Intrados CFRP width 50 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
7.13	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 25 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.			Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)

8.59	GEOMETRIC FEATURES. Circular arch: s = 150 cm t = 10 cm w = 10 cm t/s = 0.0666 Double-layered bricks and lime-cement mortar. Reinforcement: Extrados CFRP width 50 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at keystone.	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
9.2	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006b)
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
11.31	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010b)
11.5	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados CFRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006a)
12.02	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface + 8 Basalt spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012c)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012f)
12.3	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados CFRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006e)
12.81	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss CFRP width 240 mm (2 strips x 120 mm) + 4 Basalt spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012e)
13.3	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006d)
13.47	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	(2012a)
14.55	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
14.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006h)
14.97	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRG width 240 mm (2 strips x 120 mm, with 18 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012b)
15.35	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
16.2	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRG width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006f)
16.26	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Extrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010a)
19.98	GEOMETRIC FEATURES. Catenary vault: s = 200 cm t = 5.5 cm w = 102 cm t/s = 0.0275 Reinforcement: Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm). LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
21.7	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Intrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006g)
23.5	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm + Steel anchor: angle plates. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006c)
24.64	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extradoss SRP width 220 mm (2 strips x 110 mm, with 94 steel cord each) + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load	(2012d)

	alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	
26.1	GEOMETRIC FEATURES. Arch: s = 113 cm t = 12 cm w = 25 cm t/s = 0.1062 Reinforcement: Extrados + Intrados BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar) all the surface. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Garmendia, L.A. (2010c)
33	GEOMETRIC FEATURES. Catenary arch: s = 198 cm t = 10 cm w = 20 cm t/s = 0.0505 Reinforcement: Extrados SRG width 150 mm + Intrados SRP width 150 mm. LOADING CONDITION: Monotonic test. Load applied at quarter span.	Castori, G. (2006i)
Reinforcement parameter values		
Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
1700	Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
1735	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
2228	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
2643	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007a)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007b)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007c)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007d)
3000	GFRP	Basilio, I. (2007e)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
3430	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
3430	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
3430	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
3500	High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	(2012e)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]		

Value	Description	Publication
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
50000	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
65000	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007a)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007b)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007c)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007d)
65000	GFRP	Basilio, I. (2007e)
95000	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
154000	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
230000	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
230000	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001c)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
230000	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
230000	CFRP	Castori, G. (2006a)
230000	CFRP	Castori, G. (2006e)
240000	High tenacity unidirectional carbon sheet for structural strengthening	(2012e)
Ultimate deformation • ε frp [%]		
Value	**Description**	**Publication**
1.4	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
1.45	High tenacity unidirectional carbon sheet for structural strengthening	(2012e)
1.5	Extradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001a)
1.5	Intradoss CFRP width 140 mm (2 strips x 70 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena,

		C. (2001c)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008a)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008b)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008c)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008d)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008e)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008f)
1.5	CFRP	Briccoli Bati, S., Rovero, L. (2008g)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012d)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012a)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012b)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006b)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006c)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006d)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006f)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006g)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006h)
1.6	SRP/SRG High tenacity unidirectional carbon fiber sheet for structural strengthening	Castori, G. (2006i)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
1.93	Balanced grid basalt fiber sheet for structural strengthening	(2012c)
2.1	CFRP	Castori, G. (2006a)
2.1	CFRP	Castori, G. (2006e)
2.8	Extradoss GFRP witdh 400 mm (2 strips x 200 mm)	Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C. (2001b)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010a)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010b)
3.15	BTRM (Basalt Textile Reinforced Mortar)	Garmendia, L.A. (2010c)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007a)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007b)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007c)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007d)
4.3	GFRP	Basilio, I. (2007e)
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
3.1	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012a)
3.1	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012b)
3.1	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012c)
3.1	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012f)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
10.47	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012a)
10.47	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012b)
10.47	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012c)
10.47	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012f)
Elastic modulus • E [N/mm2]		

Value	Description	Publication
9451	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012a)
9451	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012b)
9451	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012c)
9451	Mortar used as matrix for SRP/BTRM	(2012f)

Ties beams or Ties rods

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli)

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		11.00 - 12.15

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		2820.00 - 3070.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		190000.00 - 190000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.60 - 1.60
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012f)

Reinforcement parameter values

Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]

Value	Description	Publication
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)

Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]

Value	Description	Publication
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)

Ultimate deformation • ε frp [%]

Value	Description	Publication
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Longitudinal sliding

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli)

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		11.00 - 12.15

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		2820.00 - 3070.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		190000.00 - 190000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.60 - 1.60
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span	(2012f)

	with two jacks.	
Reinforcement parameter values		
Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Ultimate deformation • ε frp [%]		
Value	**Description**	**Publication**
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)

Arch / Vault => Brick - Stone => Arch and barrel vault

Load variation

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Reducing the loads from extrados infilling

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

Extrados stiffening elements (frenelli)

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Extrados stiffening elements (frenelli) + FRP/SRP/SRG

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		11.00 - 12.15

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Tensile strength of fibers	f frp	[N/mm2]		2820.00 - 3070.00
Elastic modulus - in the direction of fibers	E//	[N/mm2]		190000.00 - 190000.00
Ultimate deformation	ε frp	[%]		1.60 - 1.60
Flexural Strength	fb	[N/mm²]		3.10 - 3.10
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.47 - 10.47
Elastic modulus	E	[N/mm2]		9451.00 - 9451.00

VALUES		
Post-intervention parameter values		
Ultimate loads • Q [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
11	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRP width 1 strips x 110 mm, with 94 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012g)
12.15	GEOMETRIC FEATURES. Barrel vault: s = 298 cm t = 12 cm w = 77 cm t/s = 0.0403 Reinforcement: Extrados stiffening elements (frenelli) + SRG width 1 strips x 120 mm, with 18 steel cord each + 4 Steel spikes. LOADING CONDITION: Cyclic test. Load alternately applied at the quarters of the span with two jacks.	(2012f)
Reinforcement parameter values		
Tensile strength of fibers • f frp [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
2820	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
3070	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Elastic modulus - in the direction of fibers • E// [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
190000	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Ultimate deformation • ε frp [%]		
Value	**Description**	**Publication**
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012f)
1.6	Unidirectional ultra-high tensile steel sheet for structural strengthening	(2012g)
Flexural Strength • fb [N/mm²]		
Value	**Description**	**Publication**
3.1	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
10.47	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)
Elastic modulus • E [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
9451	Mortar used as matrix for SRG/BTRM	(2012f)

Arch / Vault => Brick - Stone => Groin vault

Displacement of the supports

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES		
Post-intervention parameter values		
References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Ties beams or Ties rods

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES		
Post-intervention parameter values		
References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0		Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633	Mastrodicasa, S. (1993)

0	form VO10-VO11	Regione Umbria, (1999)
0		Giuriani, E. (2012)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Groin vault

Differential settlement of the piers

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Ties beams or Ties rods

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633	Mastrodicasa, S. (1993)
0	form VO10-VO11	Regione Umbria, (1999)
0		Giuriani, E. (2012)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Groin vault

Longitudinal sliding

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Groin vault

Load variation

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Reducing the loads from extrados infilling

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633	Mastrodicasa, S. (1993)
0	form VO10-VO11	Regione Umbria, (1999)
0		Giuriani, E. (2012)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Cloister vault				
Displacement of the supports				
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				
References • [-]				
Value	**Description**			**Publication**
0				Caleca, L. (2000)
0	form VO4			Regione Umbria, (1999)
0				Cangi, G. (2012)
FRP/SRP/SRG application on vaults				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				
References • [-]				
Value	**Description**			**Publication**
0	form VO5-VO9			Regione Umbria, (1999)
0				Focacci, F. (2008)
0				Cangi, G. (2012)
Ties beams or Ties rods				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				
References • [-]				
Value	**Description**			**Publication**
0				Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633			Mastrodicasa, S. (1993)
0	form VO10-VO11			Regione Umbria, (1999)
0				Giuriani, E. (2012)
0				Cangi, G. (2012)
Extrados r.c. jacketing				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				
References • [-]				
Value	**Description**			**Publication**
0				Caleca, L. (2000)
0	form VO3			Regione Umbria, (1999)
0				Cangi, G. (2012)
Arch / Vault => Brick - Stone => Cloister vault				
Differential settlement of the piers				
Buttresses				
Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
References	-	[-]		0.000 - 0.000
VALUES				
Post-intervention parameter values				

References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO4	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Ties beams or Ties rods

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0		Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633	Mastrodicasa, S. (1993)
0	form VO10-VO11	Regione Umbria, (1999)
0		Giuriani, E. (2012)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Cloister vault

Longitudinal sliding

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]		
Value	**Description**	**Publication**
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Arch / Vault => Brick - Stone => Cloister vault

Load variation

Buttresses

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO4	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

FRP/SRP/SRG application on vaults

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0	form VO5-VO9	Regione Umbria, (1999)
0		Focacci, F. (2008)
0		Cangi, G. (2012)

Extrados r.c. jacketing

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	form VO3	Regione Umbria, (1999)
0		Cangi, G. (2012)

Reducing the loads from extrados infilling

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
References	-	[-]		0.000 - 0.000

VALUES

Post-intervention parameter values

References • [-]

Value	Description	Publication
0		Caleca, L. (2000)
0	pp. 629-633	Mastrodicasa, S. (1993)
0	form VO10-VO11	Regione Umbria, (1999)
0		Giuriani, E. (2012)
0		Cangi, G. (2012)

A7.5 Elemento costruttivo “colonne”

A7.5.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali

Columns

Typology	Specification	Compression	Compression & Creep	Buckling	Crumbling and loss of symmetry
Brick - Stone	Monolithic columns	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG	Vertical prestressing	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG Vertical core stainless steel rod Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue External support system
Brick - Stone	Drum columns	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG	Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls)	Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls) Vertical prestressing	Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG Vertical core stainless steel rod Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue External support system
Brick - Stone	Masonry Pillars	Grout injection Scuci-Cuci Steel rods and additional nails and bolts Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG	Grout injection Scuci-Cuci Reinforced repointing Metallic strips and diagonals	Grout injection Scuci-Cuci Vertical prestressing	

Brick - Stone => Monolithic columns

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultrasonic Velocity	uV	[m/s]		477.00 - 4,367.00 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Brick - Stone => Drum columns

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values

Brick - Stone => Masonry Pillars

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,039.00 - 4,435.00 (view)
Pulse Velocity	V	[m/s]		485.00 - 1,905.00 (view)
Ultimate loads	Q	[kN]		283.35 - 415.89 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Stone	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		10.30 - 104.20 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		7.54 - 11.37 (view)
Stone	Porosity	ϕ	[%]		28.10 - 30.99 (view)
Stone	Apparent density	ρ	[kg/m3]		1.78 - 1.82 (view)
Stone	Elastic modulus	E	[N/mm2]		7,370.00 - 23,293.00 (view)
Mortar	Elastic modulus	E	[N/mm2]		2,475.00 - 3,389.00 (view)
Stone	Poisson´s Ratio	v	[-]		0.090 - 0.21 (view)
Stone	Shear Strength	fv	[N/mm²]		1.09 - 2.27 (view)
Stone	Tensile strength	ft	[N/mm2]		2.06 - 6.07 (view)
Mortar	Tensile strength	ft	[N/mm2]		1.53 - 2.39 (view)
Solid brick	Bond strength, tensile	ftb	[MPa]		0.80 - 0.80 (view)
Solid brick	Water absorption - Total	wm	[%]		22.00 - 22.00 (view)
Solid brick	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		22.00 - 22.00 (view)

Typology	Specification	Cracks and loss of monolithicity	Incompatible material supplements	Inadequate support

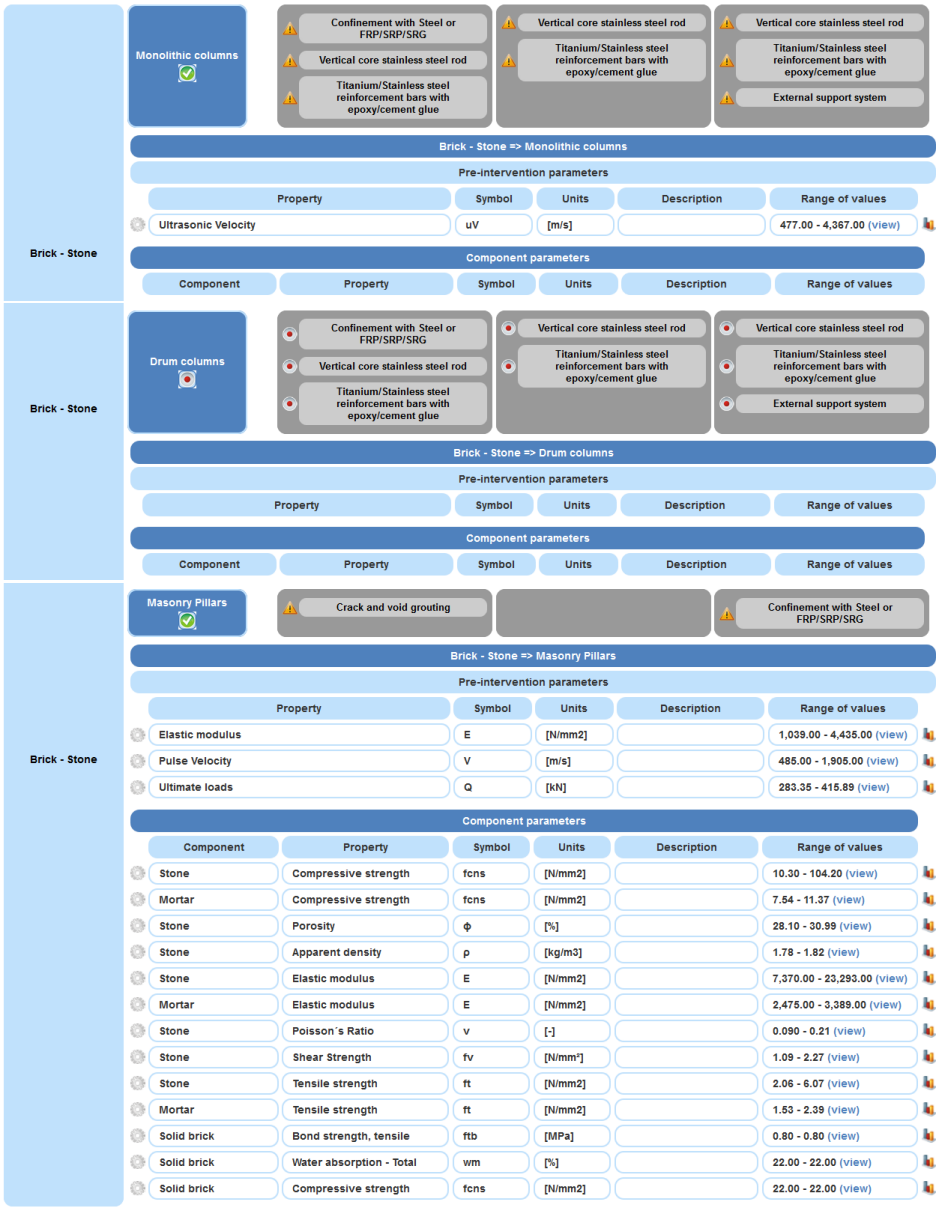


Figura 223: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "colonne"

A7.5.2 Il dettaglio dei valori pre-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali

Columns => Brick - Stone => Monolithic columns

Ultrasonic Velocity • uV [m/s]

Value	Description	Publication
477	Ultrasonic velocity obtained on a damaged marble column of a rose window.	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Masini, N., Racina, V., Nuzzo, L., Rizzo, E., Binda, L., Cantini, L. (2006). "The façade and the rose-window of Troia Cathedral (Apulia, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 1997-2004. In English. (ON SITE TESTS)
4367	Ultrasonic velocity obtained on an undamaged marble column of a rose window.	Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Masini, N., Racina, V., Nuzzo, L., Rizzo, E., Binda, L., Cantini, L. (2006). "The façade and the rose-window of Troia Cathedral (Apulia, Italy)". Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi 2006, 1997-2004. In English. (ON SITE TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1039	Estimated through a double flat jack test carried out on the external layer of the pier made by regular stones with thin joints	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (ON SITE TESTS)
3967	Estimated through a double flat jack test carried out on the external layer of the pier made by regular stones with thin joints	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (ON SITE TESTS)
4435	Estimated through a double flat jack test carried out on the external layer of the column made by regular stones with thin joints	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (ON SITE TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Pulse Velocity • V [m/s]

Value	Description	Publication
485	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm) in damaged conditions (after compression test). The velocity, in undamaged conditions, was 2292 m/s	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). "Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems". Structural Conservation of Stone Masonry, 431-441. In English. (LAB TESTS)
615	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm) in damaged conditions (after compression test). The velocity, in undamaged conditions, was 2339 m/s.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). "Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems". Structural Conservation of Stone Masonry, 431-441. In English. (LAB TESTS)
960	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar.	Binda, L. (2001). "Certificato di prova "Indagini soniche presso la Cattedrale di Noto"". DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database. In Italian. (ON SITE TESTS)
1189	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar.	Binda, L. (2001). "Certificato di prova "Indagini soniche presso la Cattedrale di Noto"". DIS-POLIMI - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation Database. In Italian. (ON SITE TESTS)
1905	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar composed by calcarenite regular stone blocks.	Cantini, L. (2011). "Assessment oh historical masonry buildings: research on appropriate non-destructive diagnostic techniques". Politecnico di milano - Architecture, Urban design, Conservation of housing and landscape. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
283.35	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular Noto stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

391.1	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
415.89	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular Serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
10.3	monoaxial compression test on a wet sandstone core sample (78x159mm)	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (ON SITE TESTS)
17.6	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
19.1	monoaxial compression test on a dry sandstone core sample (78x159mm)	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
20.6	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
89	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
104.2	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
7.54	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9.34	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 75 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9.84	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 90 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
11.37	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 172 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Porosity • ϕ [%]

Value	Description	Publication
28.1	Test carried out on a sempled sendstone core (about 80x220mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
30.6	Test carried out on a sempled sendstone core (about 80x220mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)

30.99	Test carried out on a sempled sendstone core (about 80x220mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1.78		Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
1.82		Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
7370	Test carried out on a wet sempled sendstone core (80x163mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
8526	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
9476	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
12150	Test carried out on a dry sempled sendstone core (79x158mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
18218	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
23293	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Mortar

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2475	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
3389	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 60 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Poisson´s Ratio • v [-]

Value	Description	Publication
0.09	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
0.1	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Noto stone (calcarenite). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

0.19	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load perpendicular to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
0.21	Obtained by compression tests on cylindrical specimens (80 x 160 mm) in Serena stone (sandstone). Load parallel to bedding planes direction.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Shear Strength • fv [N/mm²]

Value	Description	Publication
1.09	Test carried out on a wet sempled sendstone core (about 80x86mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)
2.27	Test carried out on a dry sempled sendstone core (about 79x80mm).	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003b). "Certificato di prova N.2001/2352 del 10/01/2003.". Politecnico di Milano - DIS - Historical Buildings: Diagnostics, Vulnerability and Conservation. In Italian. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Stone

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
2.06	Obtained by splitting tests on cylindrical specimens in Noto stone (calcarenite).	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
6.07	Obtained by splitting tests on cylindrical specimens in Serena stone (sandstone).	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Mortar

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.53	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 28 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
1.97	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 75 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
2.27	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 172 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)
2.39	Obtained on a ready-mix hydraulic lime mortar specimen (40 x 40 x 160 mm) after a curing time of 90 days.	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006). "Effectiveness of repair by injection of grout and steel confinement of damaged multiple leaf masonry specimens". 7th International Masonry Conference. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Solid brick

Bond strength, tensile • ftb [MPa]

Value	Description	Publication
0.8	Shear bond test carried out on a specimen composed by three solid bricks jointed together by an apoxy resin. The result was obtained after 40 thermal cycles.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). "Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems". Structural Conservation of Stone Masonry, 431-441. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Solid brick		
Water absorption - Total • wm [%]		
Value	**Description**	**Publication**
22	solid brick	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). "Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems". Structural Conservation of Stone Masonry, 431-441. In English. (LAB TESTS)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars => Solid brick		
Compressive strength • fcns [N/mm2]		
Value	**Description**	**Publication**
22	Solid brick	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989). "Repair of masonries by injection technique: effectiveness, bond and durability problems". Structural Conservation of Stone Masonry, 431-441. In English. (LAB TESTS)

A7.5.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Columns
Brick - Stone
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Compression
Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Compression & Creep
Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Buckling
Vertical prestressing
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Crumbling and loss of symmetry
Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue
Vertical core stainless steel rod
Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
External support system
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Cracks and loss of monolithicity
Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
Vertical core stainless steel rod
Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Incompatible material supplements
Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue
Vertical core stainless steel rod
Columns => Brick - Stone => Monolithic columns
Inadequate support
External support system
Vertical core stainless steel rod
Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue
Columns => Brick - Stone => Drum columns
Compression
Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG
Columns => Brick - Stone => Drum columns
Compression & Creep
Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls)
Columns => Brick - Stone => Drum columns

Buckling

Vertical centre-core rods (steel of fibreglass) or equivalent (polypropylene strapping outside the walls)

Vertical prestressing

Columns => Brick - Stone => Drum columns

Crumbling and loss of symmetry

Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue

Vertical core stainless steel rod

Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG

External support system

Columns => Brick - Stone => Drum columns

Cracks and loss of monolithicity

Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG

Vertical core stainless steel rod

Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue

Columns => Brick - Stone => Drum columns

Incompatible material supplements

Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue

Vertical core stainless steel rod

Columns => Brick - Stone => Drum columns

Inadequate support

External support system

Vertical core stainless steel rod

Titanium/Stainless steel reinforcement bars with epoxy/cement glue

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Compression

Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		3 487.00 - 13 552.00
Pulse Velocity	V	[m/s]		no values defined

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
3487	Estimated through a double flat jack test carried out on the external layer of a pier made by regular stones with thin joints reinforced by metal strips and bars.	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a)
13552	Estimated through a double flat jack test carried out on the external layer of a pier made by regular stones with thin joints reinforced by metal strips and bars.	Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., Baronio, G. (2003a)

Scuci-Cuci

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Pulse Velocity	V	[m/s]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2 500.00 - 3 350.00
Pulse Velocity	V	[m/s]		1 231.00 - 3 429.00

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Pulse Velocity	V	[m/s]		1231.00 - 3429.00

Elastic modulus	E	[N/mm2]		2528.00 - 3350.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2500	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Pulse Velocity • V [m/s]

Value	Description	Publication
1231	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection.	Binda, L. (2001)
1566	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection.	Binda, L. (2001)
2391	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm) repaired by epoxy resin. The velocity, in undamaged conditions, was 2292 m/s	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)
3429	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm) repaired by epoxy resin. The velocity, in undamaged conditions, was 2292 m/s	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)

Reinforcement parameter values

Pulse Velocity • V [m/s]

Value	Description	Publication
1231	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection	Binda, L. (2001)
1566	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar.	Binda, L. (2001)
2391	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm), made by solid bricks, repaired by epoxy resin. The velocity, in undamaged conditions, was 2292 m/s	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)
3429	Direct sonic tests carried out on a specimenn (250x510x600 mm), made by solid bricks, repaired by epoxy resin. The velocity, in undamaged conditions, was 2339 m/s	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2528	Result obtained after a compression test on a solid brick prism (250x510x600 mm) reinforced by an epoxy resin.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)
3350	Result obtained after a compression test on a solid brick prism (250x510x600 mm) reinforced by an epoxy resin.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)

Steel rods and additional nails and bolts

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined
Pulse Velocity	V	[m/s]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Ultimate loads	Q	[kN]		700.88 - 700.88

VALUES

Reinforcement parameter values

Ultimate loads • Q [kN]

Value	Description	Publication
700.88	Result obtained by a shear test carried out on a three leaf wallette (310x510x790 mm) composed by two external leaves with regular serena stones (sandstone) and an internal leaf in rubble materials. The specimen was repaired by steel rods	Anzani, A., Binda, L., Fontana, A., Tedeschi, C. (2006)

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Compression & Creep

Reinforced repointing

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Scuci-Cuci

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Grout injection

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2 500.00 - 3 350.00

Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Pulse Velocity	V	[m/s]		1231.00 - 1566.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		2528.00 - 3350.00

VALUES

Post-intervention parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2500	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Reinforcement parameter values

Pulse Velocity • V [m/s]

Value	Description	Publication
1231	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection	Binda, L. (2001)
1566	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection	Binda, L. (2001)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
2528	Result obtained after a compression test on a solid brick prism (250x510x600 mm) reinforced by an epoxy resin.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)
3350	Result obtained after a compression test on a solid brick prism (250x510x600 mm) reinforced by an epoxy resin.	Binda, L., Berra, M., Baronio, G., Fontana, A. (1989)

Metallic strips and diagonals

Post-intervention parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Buckling

Scuci-Cuci

Grout injection

Reinforcement parameters				
Property	**Symbol**	**Units**	**Description**	**Range of values**
Pulse Velocity	V	[m/s]		2500.00 - 3350.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		1231.00 - 1566.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Pulse Velocity • V [m/s]

Value	Description	Publication
2500	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)
3350	Monoaxial compression tests on brick masonry specimens(205x510x600mm) built with solid bricks and cememnt lime mortar, injected by two resins.	Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. (1993a)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1231	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection	Binda, L. (2001)
1566	Mean value obtained from a direct sonic test carried out on a multiple leaf stone masonry pillar, after fluid mixture injection	Binda, L. (2001)

Vertical prestressing

Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

Cracks and loss of monolithicity

Crack and void grouting

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Pulse Velocity	V	[m/s]		no values defined
Elastic modulus	E	[N/mm2]		no values defined

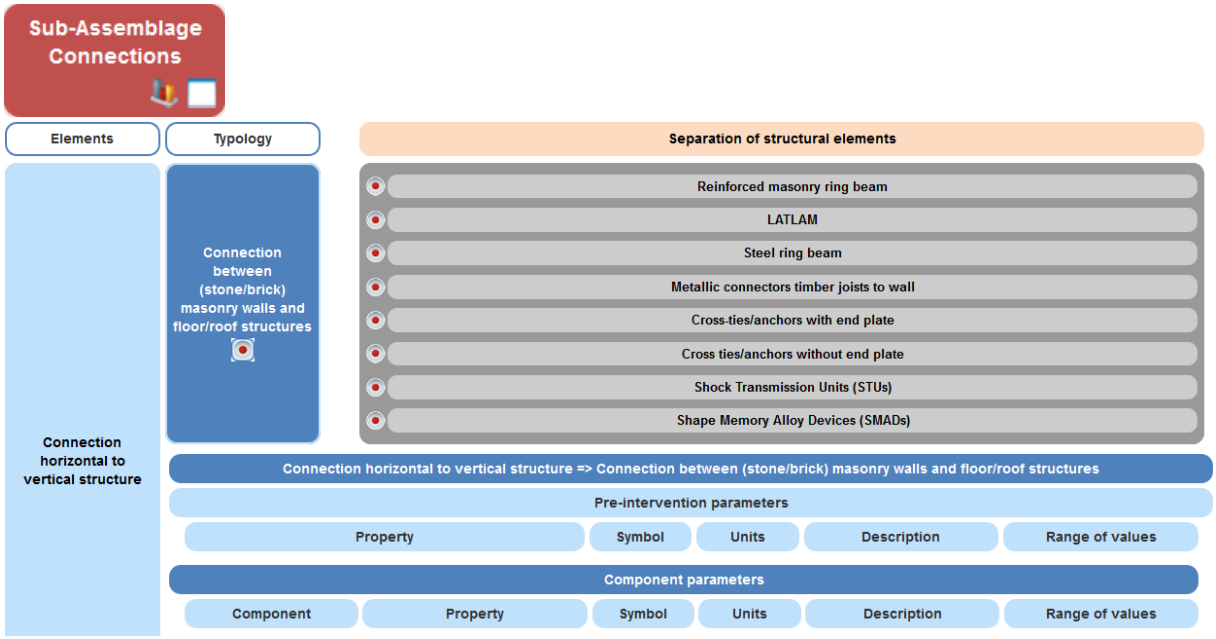
Columns => Brick - Stone => Masonry Pillars

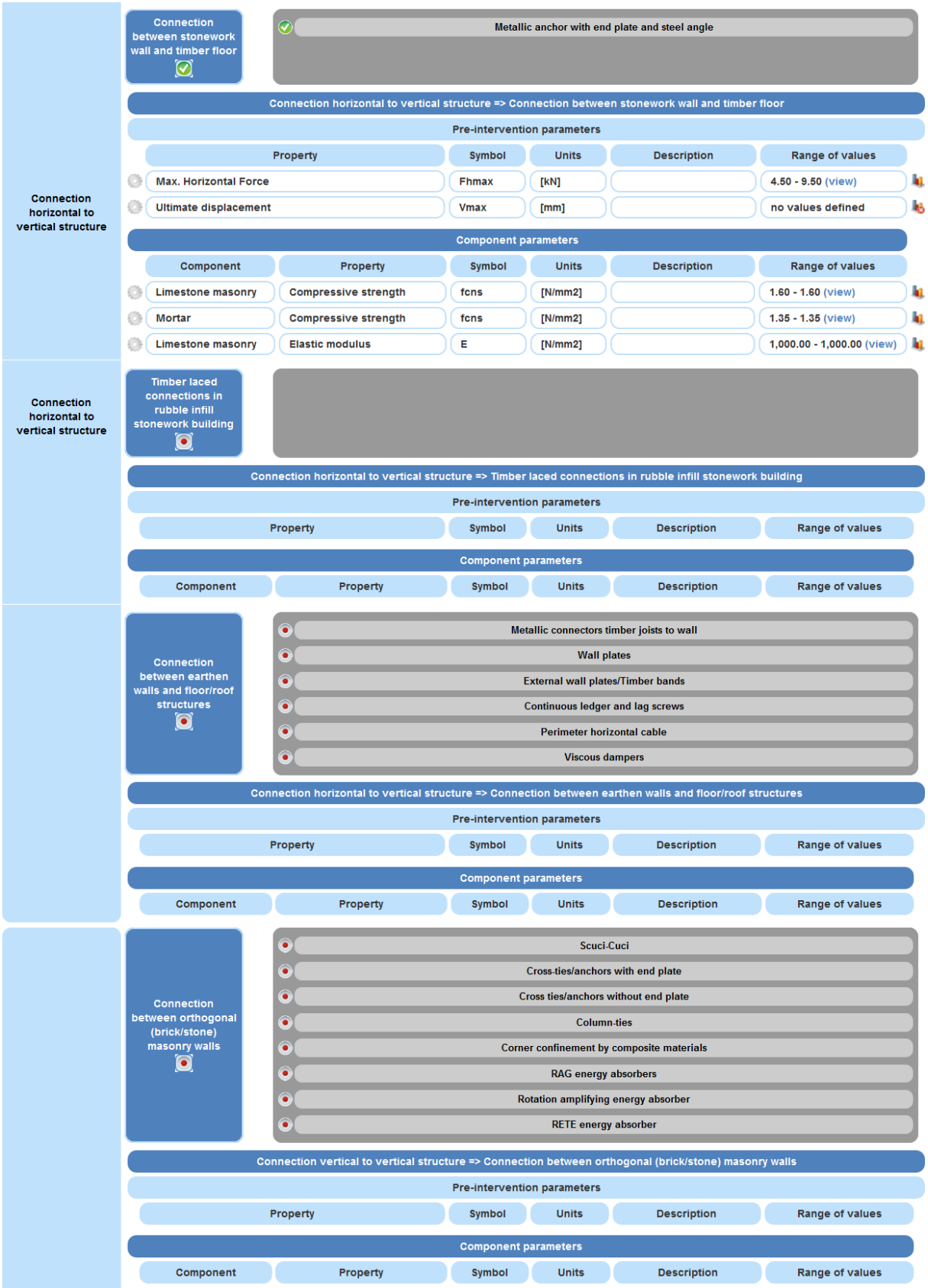
Inadequate support

Confinement with Steel or FRP/SRP/SRG

A7.6 Elemento costruttivo “connessioni”

A7.6.1 I parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali




Connection horizontal to vertical structure
Connection between stonework wall and timber floor
Metallic anchor with end plate and steel angle
Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor
Pre-intervention parameters
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Max. Horizontal Force
Fhmax
[kN]
4.50 - 9.50 (view)
Ultimate displacement
Vmax
[mm]
no values defined
Component parameters
Component
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Limestone masonry
Compressive strength
fcns
[N/mm2]
1.60 - 1.60 (view)
Mortar
Compressive strength
fcns
[N/mm2]
1.35 - 1.35 (view)
Limestone masonry
Elastic modulus
E
[N/mm2]
1,000.00 - 1,000.00 (view)
Connection horizontal to vertical structure
Timber laced connections in rubble infill stonework building
Connection horizontal to vertical structure => Timber laced connections in rubble infill stonework building
Pre-intervention parameters
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Component parameters
Component
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Connection between earthen walls and floor/roof structures
Metallic connectors timber joists to wall
Wall plates
External wall plates/Timber bands
Continuous ledger and lag screws
Perimeter horizontal cable
Viscous dampers
Connection horizontal to vertical structure => Connection between earthen walls and floor/roof structures
Pre-intervention parameters
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Component parameters
Component
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Connection between orthogonal (brick/stone) masonry walls
Scuci-Cuci
Cross-ties/anchors with end plate
Cross ties/anchors without end plate
Column-ties
Corner confinement by composite materials
RAG energy absorbers
Rotation amplifying energy absorber
RETE energy absorber
Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal (brick/stone) masonry walls
Pre-intervention parameters
Property
Symbol
Units
Description
Range of values
Component parameters
Component
Property
Symbol
Units
Description
Range of values

Connection vertical to vertical structure

Connection between orthogonal stonework walls

- Ductile anchor plates

Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal stonework walls

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		no values defined

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Limestone masonry	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.60 - 1.60 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.35 - 1.35 (view)
Limestone masonry	Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,000.00 - 1,000.00 (view)

Connection vertical to vertical structure

Corner connection between orthogonal brickwork walls

- Cross ties/anchors without end plate
- Hysteretic anchor dissipative device
- Frictional anchor dissipative device

Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		4.50 - 4.50 (view)
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		3.10 - 6.70 (view)
Bond strength - By wrench test	fw	[N/mm2]		0.50 - 0.67 (view)
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		5.00 - 5.00 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		0.50 - 1.00 (view)
Mortar	Flexural Strength	fb	[N/mm²]		0.20 - 0.30 (view)
Bricks with holes	Water absorption - Total	wm	[%]		17.60 - 17.60 (view)
Bricks with holes	Water absorption - Inital rate	cwi,s	[kg/(m2·min)]		1.30 - 1.30 (view)
Bricks with holes	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		27.30 - 27.30 (view)
Solid brick	Water absorption - Total	wm	[%]		11.50 - 11.50 (view)
Solid brick	Water absorption - Inital rate	cwi,s	[kg/(m2·min)]		2.20 - 2.20 (view)
Solid brick	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		12.80 - 12.80 (view)

Connection vertical to vertical structure

Connection between stonework wall and vertical timber frame

- Cross ties/anchors without end plate

Connection vertical to vertical structure => Connection between stonework wall and vertical timber frame

Pre-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		0.000 - 0.000 (view)

Component parameters

Component	Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Limestone masonry	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.60 - 1.60 (view)
Mortar	Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.20 - 1.35 (view)
Limestone masonry	Elastic modulus	E	[N/mm2]		1,000.00 - 1,000.00 (view)

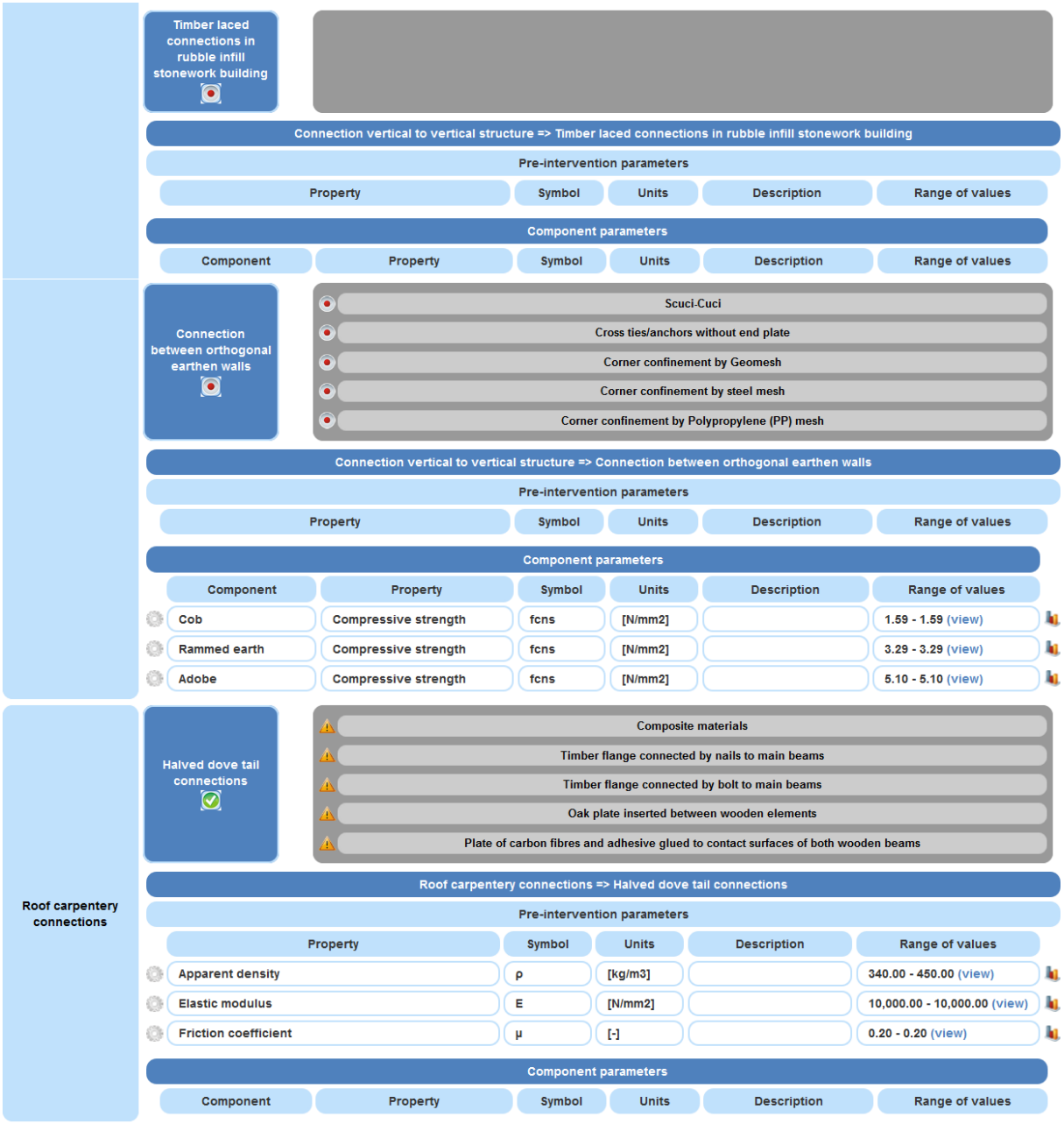


Figura 224: I parametri pre-intervento associati alla tipologia di materiale per l'elemento costruttivo "connessioni"

A7.6.2 Il dettaglio dei valori dei parametri pre-intervento associati alle tipologie dei materiali

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
4.5		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)
9.5		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor => Limestone masonry

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.6		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.35		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor => Limestone masonry

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal stonework walls => Limestone masonry

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.6		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal stonework walls => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.35		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal stonework walls => Limestone masonry

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
4.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
3.1	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)
6.7	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Bond strength - By wrench test • fw [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)
0.67	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)
1	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Mortar

Flexural Strength • fb [N/mm²]

Value	Description	Publication
0.2	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)
0.3	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Bricks with holes

Water absorption - Total • wm [%]

Value	Description	Publication
17.6	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Bricks with holes

Water absorption - Inital rate • cwi,s [kg/(m2·min)]

Value	Description	Publication
1.3	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Bricks with holes

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
27.3	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Solid brick

Water absorption - Total • wm [%]

Value	Description	Publication
11.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Solid brick

Water absorption - Inital rate • cwi,s [kg/(m2·min)]

Value	Description	Publication
2.2	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls => Solid brick

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
12.8	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long.	(2012). "Experimental Result on Structural Connections". University of Bath - Internal report. In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between stonework wall and vertical timber frame => Limestone masonry

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.6		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between stonework wall and vertical timber frame => Mortar

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.2		Moreira, S., Ramos, L.F., Oliveira, D.V., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "). Experimental seismic behavior of wall-to-half-timbered wall connections". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)
1.35		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "Experimental study on the seismic behavior of masonry wall-to-floor connections". 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon. In English. (ON SITE TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between stonework wall and vertical timber frame => Limestone masonry

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
1000		Moreira, S., Ramos, L.F., Oliveira, D.V., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012). "). Experimental seismic behavior of wall-to-half-timbered wall connections". Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland 2012 (SAHC 2012). In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Roof carpentery connections => Halved dove tail connections

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
340		(2008). "Handbook 1,2: Design of Timber Structures according to EC5". Leonardo da Vinci Pilot Project (CZ/06/B/F/PP/168007). In English. (LAB TESTS)
450		(2008). "Handbook 1,2: Design of Timber Structures according to EC5". Leonardo da Vinci Pilot Project (CZ/06/B/F/PP/168007). In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Roof carpentery connections => Halved dove tail connections

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
10000		(2008). "Handbook 1,2: Design of Timber Structures according to EC5". Leonardo da Vinci Pilot Project (CZ/06/B/F/PP/168007). In English. (LAB TESTS)

Sub-Assemblage Connections => Roof carpentery connections => Halved dove tail connections

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.2		Serway, R.A. (1995). "Physics for Scientists and Engineers, 4th edition". Harcocut Brace College Publishers. In English. (LAB TESTS)

A7.6.3 Il dettaglio dei valori post-intervento dei parametri associati alle tipologie dei materiali e ai meccanismi di rottura

Sub-Assemblage Connections

Roof carpentery connections

Sub-Assemblage Connections => Roof carpentery connections => Halved dove tail connections

Separation of structural elements

Composite materials

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		1950.00 - 1950.00
Friction coefficient	μ	[-]		0.35 - 0.40
Tensile strength	ft	[N/mm2]		28.00 - 28.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
1950		(2010)

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.35		(2010)
0.4		(2010)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication

28		(2010)

Timber flange connected by nails to main beams

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		7850.00 - 7850.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		210000.00 - 210000.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
7850		(2010)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
210000		(2010)

Timber flange connected by bolt to main beams

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		7850.00 - 7850.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		210000.00 - 210000.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
7850		(2010)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
210000		(2010)

Oak plate inserted between wooden elements

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Apparent density	ρ	[kg/m3]		700.00 - 750.00
Elastic modulus	E	[N/mm2]		12000.00 - 12000.00
Friction coefficient	μ	[-]		0.40 - 0.40

VALUES

Reinforcement parameter values

Apparent density • ρ [kg/m3]

Value	Description	Publication
700		(2008)
750		(2008)

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication
12000		(2008)

Friction coefficient • μ [-]

Value	Description	Publication
0.4		(2010)

Plate of carbon fibres and adhesive glued to contact surfaces of both wooden beams

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Elastic modulus	E	[N/mm2]		230000.00 - 230000.00
Tensile strength	ft	[N/mm2]		3500.00 - 3500.00

VALUES

Reinforcement parameter values

Elastic modulus • E [N/mm2]

Value	Description	Publication

230000		(2007)

Tensile strength • ft [N/mm2]

Value	Description	Publication
3500		(2007)

Connection vertical to vertical structure

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal stonework walls

Separation of structural elements

Ductile anchor plates

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		95.00 - 95.00

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Energy dissipation capacity	Edis/Einp	[%]		no values defined

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Minimum capacity: failure of the ductile anchor plate	When designing the strengthening, failure should occur in the ductile anchor plate (preferably)or in the tie rod.

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
95		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F. (2012)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal (brick/stone) masonry walls

Separation of structural elements

Scuci-Cuci

Column-ties

Corner confinement by composite materials

Cross-ties/anchors with end plate

Cross ties/anchors without end plate

RAG energy absorbers

Rotation amplifying energy absorber

RETE energy absorber

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Corner connection between orthogonal brickwork walls

Separation of structural elements

Cross ties/anchors without end plate

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		14.40 - 22.00
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		2.50 - 20.00

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Anchor rod yielding force	Fy,a	[kN]		71.00 - 71.00
Bond strength anchor rod/binder	fb,a/b	[MPa]		0.50 - 4.10
Bond strength binder/parent material	fb,b/p	[MPa]		0.26 - 0.67

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Damage mechanism: pull-out of anchorage + crack in corner joint	When anchors achieve an effective bond, the damage mechanism changes, so rather than a vertical crack at the joint between to walls, cracking occurs in the wall parallel to the loading direction. Eventually failure occurs at the interface between the grouted socket and the parent material and the two wall panels behaves independently; maximum load is achieved when pull-out occurs. Residual load capacity is due to mechanical locking and friction within the drilled hole and at the crack interfaces. If anchors cannot achieve an effective bond, the failure mechanism is not modified: the damage at the joint occurs by a vertical corner crack and the anchor pulls out of the wall perpendicular to the loading direction at very early stages of testing. Maximum load is determined by the load capacity of the joint. Extra resistance in respect to an unreinforced specimen is still achieved thanks to mechanical locking.

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
14.4	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Vertical load on specimen: 0.05 MPa. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied	(2012)
22	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Vertical load on specimen: 0.1 MPa. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied.	(2012)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
2.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No 1	(2012)
10	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No 2.	(2012)
20	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No 3.	(2012)

Reinforcement parameter values

Anchor rod yielding force • Fy,a [kN]

Value	Description	Publication
71	Value stated by producer	(2012)

Bond strength anchor rod/binder • fb,a/b [MPa]

Value	Description	Publication
0.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M2-M5) not confined within masonry units	(2005)
1	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M5-M9) or concrete infill (strength class C12/15) not confined within masonry units	(2005)
1.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M10-M14) or concrete infill (strength class C16/20) not confined within masonry units	(2005)
2	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M15-M19) or concrete infill (strength class C20/25) not confined within masonry units	(2005)
2.1	Stainless steel M16 threaded bars embedded in 80 mm diameter cementicious grout cylinder, 550 mm long (not confined)	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)

2.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C12/15)	(2005)
2.5	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout with mix 1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	(2005)
3	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C16/20)	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M20) or concrete infill (strength class C25/30 or stronger) not confined within masonry units	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter inferior to 12 mm embedded in cementicious grout with mix 1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout equivalent to C25/30 or stronger	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C20/25)	(2005)
4.1	Ribbed bar of diameter inferior to 12 mm embedded in cementicious grout equivalent to C25/30 or stronger	(2005)
4.1	High-bond carbon and stainles steel bars embedded in confined concrete grout (strength class C25/30) or stronger	(2005)

Bond strength binder/parent material • fb,b/p [MPa]

Value	Description	Publication
0.26	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Vertical load on specimen: 0.05 MPa. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied.	(2012)
0.4	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa). Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Vertical load on specimen: 0.1 MPa. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied.	(2012)
0.57	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long. Vertical load on specimen: 0.075 MPa. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)
0.67	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) embedded in 80 mm diam holes, 350 mm long. Vertical load on specimen: 0.8 MPa. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)

Hysteretic anchor dissipative device

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		19.00 - 26.00
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		10.00 - 25.60

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Hysteretic anchor device yielding force	Fy,hd	[kN]		33.00 - 33.00
Anchor rod yielding force	Fy,a	[kN]		71.00 - 71.00
Bond strength anchor rod/binder	fb,a/b	[MPa]		0.50 - 3.40
Bond strength binder/parent material	fb,b/p	[MPa]		0.20 - 0.45

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Damage	When anchors achieve an effective bond and the yielding device can reach the plastic field before any

mechanism: yielding of device (or vertical crack + pull-out)	damage occurs to the substratum, the damage mechanism changes, so rather than a vertical crack at the joint between two walls, cracking occurs in the wall parallel to the loading direction. Eventually failure occurs at the interface between the grouted socket and the parent material and the two wall panels behaves independently; maximum load is achieved when pull-out occurs. Residual load capacity is due to mechanical locking and friction within the drilled hole and at the crack interfaces. If anchors cannot achieve an effective bond and the yielding device is overdimensioned, i.e. it behaves linerly as a standard anchor, the failure mechanism is not modified: the damage at the joint occurs by a vertical corner crack and the anchor pulls out of the wall perpendicular to the loading direction at very early stages of testing. Maximum load is determined by the load capacity of the joint. Extra resistance in respect to an unreinforced specimen is still achieved thanks to mechanical locking.

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
19	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic dissipative device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y2	(2012)
26	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic anchor device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y1	(2012)

Ultimate displacement • Vmax [mm]

Value	Description	Publication
10	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic anchor device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y2	(2012)
25.6	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic anchor device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y1	(2012)

Reinforcement parameter values

Hysteretic anchor device yielding force • Fy,hd [kN]

Value	Description	Publication
33	Monotonic tensile test on hysteretic dissipative device, size suitable to be installed in series with M16 threaded anchor bars used in other tests.	(2012)

Anchor rod yielding force • Fy,a [kN]

Value	Description	Publication
71	Value stated by producer	(2012)

Bond strength anchor rod/binder • fb,a/b [MPa]

Value	Description	Publication
0.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M2-M5) not confined within masonry units	(2005)
1	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M5-M9) or concrete infill (strength class C12/15) not confined within masonry units	(2005)
1.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M10-M14) or concrete infill (strength class C16/20) not confined within masonry units	(2005)
2	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M15-M19) or concrete infill (strength class C20/25) not confined within masonry units	(2005)
2.1	Stainless steel M16 threaded bars embedded in 80 mm diameter cementicious grout cylinder, 550 mm long (not confined)	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
2.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C12/15)	(2005)
2.5	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout with mix	(2005)

	1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	
3	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C16/20)	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M20) or concrete infill (strength class C25/30 or stronger) not confined within masonry units	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter inferior to 12 mm embedded in cementicious grout with mix 1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout equivalent to C25/30 or stronger	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C20/25)	(2005)

Bond strength binder/parent material • fb,b/p [MPa]

Value	Description	Publication
0.2	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic anchor device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y1	(2012)
0.35	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic anchor device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No y2	(2012)
0.45	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + hysteretic device. Embedment length in 80 mm diam holes, 350 mm long. Horizontal load: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)

Frictional anchor dissipative device

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		7.60 - 11.20
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		12.00 - 30.00

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Slip load of frictional device	F//	[kN]		3.75 - 30.00
Anchor rod yielding force	Fy,a	[kN]		71.00 - 71.00
Bond strength anchor rod/binder	fb,a/b	[MPa]		0.50 - 3.40
Bond strength binder/parent material	fb,b/p	[MPa]		0.20 - 0.20

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Damage mechanism: cracking of wall parallel to seismic action. Prevented pull-out	Thanks to the possibility of controlling the slip load and set it to such a level that no damage occurs in the parent material, the frictional anchor device maintain the connection between orthogonal walls, yet allowing relative displacements and preventing pull-out failure at the head of the anchorage, even in low-capacity walls. The maximum load is given by the capacity of the connection up to the point where the device reaches the end of the run. If relative displacements between the two walls are beyond this threshold, the further load capacity is given by axial strength of the device.

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
7.6	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of	(2012)

	the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f1	
9.4	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f2	(2012)
11.2	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f3	(2012)
Ultimate displacement • Vmax [mm]		
Value	**Description**	**Publication**
12	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f2	(2012)
28	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f1	(2012)
30	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied. Specimen No f3	(2012)
Reinforcement parameter values		
Slip load of frictional device • F// [kN]		
Value	**Description**	**Publication**
3.75	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 12.5 kN Friction coefficient (lower bound identified over number of tests): 0.15	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
4.5	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 15 kN Friction coefficient (lower bound identified over number of tests): 0.15	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
5.25	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 17.5 kN Friction coefficient (lower bound identified over number of tests): 0.15	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
9.5	T-shaped masonry panels, 1200 mm high, double bond. T head 700 mm by 220 mm in plan, T leg about 900 mm by 220 in plan. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 188. Recycled hand-cut bricks, dimensions 235x105x65 mm3. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + frictional device. Embdedment in the head of the wall is in 80 mm diam holes, 220mm long. Perpendicular pressure on the device assembly is : 15 kN. Loading: cyclic loading applied perpendicularly to the head of the T whilst the leg of the T is constrained. Increasing amplitude cycles are applied.	(2012)
13	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) +frictional devices. Embedment 80 mm diam holes, 350 mm long. Perpendicular pressure on the device assembly: 15 kN. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)
13.75	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 12.5 kN Friction coefficient (upper bound identified over number of tests): 0.55	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
16	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) +frictional devices. Embedment 80 mm diam holes, 350 mm long. Perpendicular pressure on the device assembly: 23 kN. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)

16.5	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 15 kN Friction coefficient (upper bound identified over number of tests): 0.55	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
19	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) +frictional devices. Embedment 80 mm diam holes, 350 mm long. Perpendicular pressure on the device assembly: 31.5 kN. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)
19.25	Test on isolated devices. Perpendicular pressure applied on device assembly: 17.5 kN Friction coefficient (upper bound identified over number of tests): 0.55	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
30	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) +frictional devices. Embedment 80 mm diam holes, 350 mm long. Perpendicular pressure on the device assembly: 41.5 kN. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor.	(2012)

Anchor rod yielding force • Fy,a [kN]

Value	Description	Publication
71	Value stated by producer.	(2012)

Bond strength anchor rod/binder • fb,a/b [MPa]

Value	Description	Publication
0.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M2-M5) not confined within masonry units	(2005)
1	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M5-M9) or concrete infill (strength class C12/15) not confined within masonry units	(2005)
1.5	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M10-M14) or concrete infill (strength class C16/20) not confined within masonry units	(2005)
2	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M15-M19) or concrete infill (strength class C20/25) not confined within masonry units	(2005)
2.1	Stainless steel M16 threaded bars embedded in 80 mm diameter cementicious grout cylinder, 550 mm long (not confined)	D'ayala, D., Paganoni, S. (2012)
2.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C12/15)	(2005)
2.5	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout with mix 1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	(2005)
3	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C16/20)	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in mortar (strength class M20) or concrete infill (strength class C25/30 or stronger) not confined within masonry units	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter inferior to 12 mm embedded in cementicious grout with mix 1 : ¼ : 3 : 2 (cement : lime : sand : 10 mm nominal maximum size aggregate)	(2005)
3.4	Ribbed bar of diameter larger than 12 mm embedded in cementicious grout equivalent to C25/30 or stronger	(2005)
3.4	High-bond carbon and stainless steel bars embedded in confined concrete infill (strength class C20/25)	(2005)

Bond strength binder/parent material • fb,b/p [MPa]

Value	Description	Publication
0.2	Masonry panels, dimensions 1.4x0.35 m in plan, 1.5 m high, English bond. NHL 5 lime mortar, lime to sand volume ratio equal to 1:2, consistence 166.3. Recycled Victorian bricks, dimensions 220x110x70 mm3, 20 holes. Strengthening: M16 stainless steel bars (fy=450 MPa) + friction anchor device. Embedment in 80 mm diam holes, 350 mm long. Horizontal loading: monotonic pull-out load on anchor. Value is calculated as average of samples where cracking occurred - not all samples presented cracking	(2012)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between stonework wall and vertical timber frame

Separation of structural elements

Cross ties/anchors without end plate

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Anchor rod yielding force	Fy,a	[kN]		no values defined
Bond strength anchor rod/binder	fb,a/b	[MPa]		no values defined
Bond strength	fb,b/p	[MPa]		no values defined

binder/parent material				
Shear strength of parent material to punching failure	fcp	[N/mm2]		0.10 - 0.10

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Maximum capacity: formation of the shear pull-out cone	The damage mechanism associated with the maximum post-intervention capacity is formation of the shear pull-out cone in the masonry wall. For design, is advisable a damage mechanism related with yielding of the metallic anchor.

VALUES

Post-intervention parameter values

Reinforcement parameter values

Shear strength of parent material to punching failure • fcp [N/mm2]

Value	Description	Publication
0.1		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F. (2012)

Sub-Assemblage Connections => Connection vertical to vertical structure => Connection between orthogonal earthen walls

Separation of structural elements

Scuci-Cuci

Corner confinement by Geomesh

Corner confinement by steel mesh

Corner confinement by Polypropylene (PP) mesh

Cross ties/anchors without end plate

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Bond strength anchor rod/binder	fb,a/b	[MPa]		0.45 - 0.53
Bond strength binder/parent material	fb,b/p	[MPa]		0.24 - 0.42

VALUES

Reinforcement parameter values

Bond strength anchor rod/binder • fb,a/b [MPa]

Value	Description	Publication
0.45	GFRP rods + nuts in Cob	(2012)
0.46	Steel rods in Cob	(2012)
0.53	GFRP rods in Earth block masonry (adobe)	(2012)

Bond strength binder/parent material • fb,b/p [MPa]

Value	Description	Publication
0.24	GFRP rods in Cob	(2012)
0.32	GFRP rods + nuts in earth block masonry (Adobe)	(2012)
0.42	Steel rods + nuts in earth block masonry (Adobe)	(2012)

Connection horizontal to vertical structure

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between (stone/brick) masonry walls and floor/roof structures

Separation of structural elements

Reinforced masonry ring beam

LATLAM

Steel ring beam

Metallic connectors timber joists to wall

Cross-ties/anchors with end plate

Cross ties/anchors without end plate

Shock Transmission Units (STUs)

Shape Memory Alloy Devices (SMADs)

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between stonework wall and timber floor

Separation of structural elements

Metallic anchor with end plate and steel angle

Post-intervention parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Max. Horizontal Force	Fhmax	[kN]		85.20 - 85.20
Ultimate displacement	Vmax	[mm]		no values defined

Reinforcement parameters

Property	Symbol	Units	Description	Range of values
Compressive strength	fcns	[N/mm2]		1.60 - 1.60
Shear strength of parent material to punching failure	fcp	[N/mm2]		no values defined

Effects of intervention on damage mechanism

Title	Description
Maximum capacity: Formation of shear pull-out cone	The damage mechanism associated with the maximum post-intervention capacity is formation of the shear pull-out cone in the masonry wall. For design, is advisable a damage mechanism related with yielding of the metallic anchor.

VALUES

Post-intervention parameter values

Max. Horizontal Force • Fhmax [kN]

Value	Description	Publication
85.2		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012)

Reinforcement parameter values

Compressive strength • fcns [N/mm2]

Value	Description	Publication
1.6		Moreira, S., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Fernandes, R.P., Guerreiro, J., Lourenço, P.B. (2012)

Sub-Assemblage Connections => Connection horizontal to vertical structure => Connection between earthen walls and floor/roof structures

Separation of structural elements

Wall plates

External wall plates/Timber bands

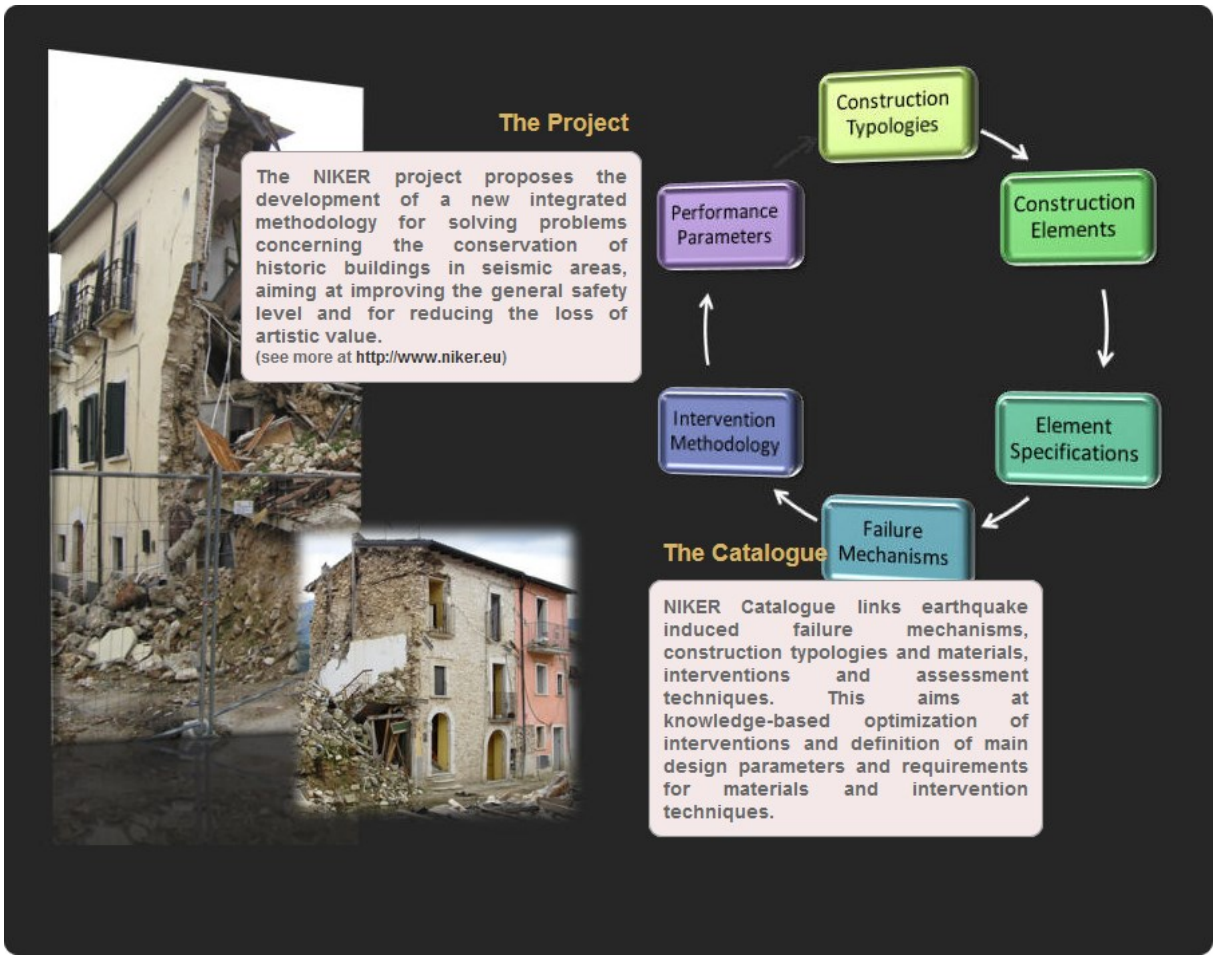
Metallic connectors timber joists to wall

Continuous ledger and lag screws

Perimeter horizontal cable

Viscous dampers

ALLEGATO 8 IL MANUALE D'USO PER GLI UTENTI DEL "DATA WAREHOUSE"



DATA WAHREHOUSE FOR THE PARAMETERIZATION OF THE CATALOGUES

USER'S MANUAL

version 2.0

TABLE OF CONTENTS

1 DISCLAIMER 1
2 SCREEN AREAS 3
2.1 MAIN AREAS *3*
2.2 SUB-AREAS *4*
3 LOGIN 5
4 PERMISSIONS 7
5 PUBLICATIONS 9
5.1 SEARCH *10*
5.2 SHOW *10*
5.3 ADD *10*
5.3.1 Management of Sources 12
5.3.1.1 Show *12*
5.3.1.2 Add *12*
5.3.1.3 Edit *13*
5.3.1.4 Delete *14*
5.3.2 Management of Authors 14
5.3.2.1 Show *15*
5.3.2.2 Add *15*
5.3.2.3 Edit *16*
5.3.2.4 Delete *17*
5.4 EDIT *17*
5.5 DELETE *18*
6 CONSTRUCTION TYPOLOGIES 19
6.1 EDIT *19*
7 CONSTRUCTION ELEMENTS 21
7.1 SHOW *21*
7.2 ADD *22*
7.3 EDIT *23*
7.4 DELETE *24*
7.5 PLOT RECAPITULATORY CHART *24*
8 ELEMENT SPECIFICATIONS 25
8.1 FIRST LEVEL: MATERIAL (ELEMENT TYPOLOGY) *26*
8.1.1 Add 26
8.1.2 Edit 27
8.1.3 Delete 27
8.2 SECOND LEVEL: TYPOLOGY (ELEMENT SPECIFICATION) *28*
8.2.1 Add 28
8.2.2 Edit 28
8.2.3 Delete 29

8.3 PRE-INTERVENTION AND COMPONENT PARAMETERS 30
8.3.1 Management of parameters 30
8.3.1.1 Show 31
8.3.1.2 Add 31
8.3.1.3 Edit 32
8.3.1.4 Delete 33
8.3.2 Management of components 33
8.3.2.1 Show 33
8.3.2.2 Add 34
8.3.2.3 Edit 34
8.3.2.4 Delete 35
8.3.3 Connecting the pre-intervention parameters 35
8.3.3.1 View, add and edit values 36
8.3.4 Connecting the component parameters 40
9 FAILURE MECHANISMS 41
9.1 ADD 41
9.2 EDIT 42
9.3 DELETE 43
9.4 FAILURE MECHANISM DETAILS 43
9.4.1 Properties (performance indicators) 44
9.4.2 Descriptive performance indicators 44
9.4.2.1 Show 45
9.4.2.2 Add 45
9.4.2.3 Edit 46
9.4.2.4 Delete 46
10 INTERVENTIONS 47
10.1 SHOW 47
10.2 ADD 48
10.3 EDIT 49
10.4 DELETE 50
10.5 GENERATE REPORT 50
10.6 INTERVENTION CROSS-CORRELATIONS 51
10.6.1 Cross-correlated Intervention Properties 52
11 DYNAMIC CHARTS 55

1 DISCLAIMER

NIKER Catalogue, this website, is a technical database and should not be used to choose an intervention without taking into account the specific aspects of each case study.

The content of this website is published on the basis of "as it is", and "as available". NIKER Catalogue Administrators do not warrant or assume any legal liability or responsibility for the accuracy, correctness, completeness, or usefulness of any information, or process disclosed here.

NIKER Catalogue Administrators do not under any circumstances bear any responsibilities for the direct or indirect damage resulting from the use, inability to use, errors and inadvertence in the use of the contents of this website.

2 SCREEN AREAS

2.1 *MAIN AREAS*

The screen is divided into 5 main areas as shown in Figure 1 and Figure 2. The application shows most of the information in such areas. Pop-up windows are generated when needed: create and update actions, charts, reports, and publication management. All pop-up windows must be closed to access the main page.

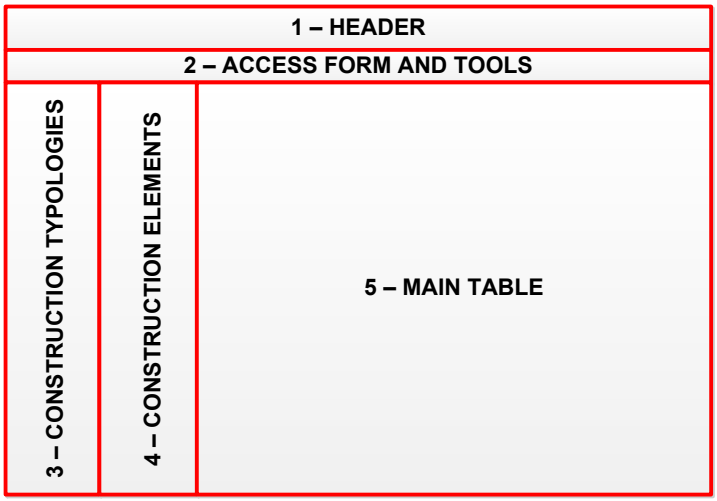


Figure 1: Scheme of the screen areas

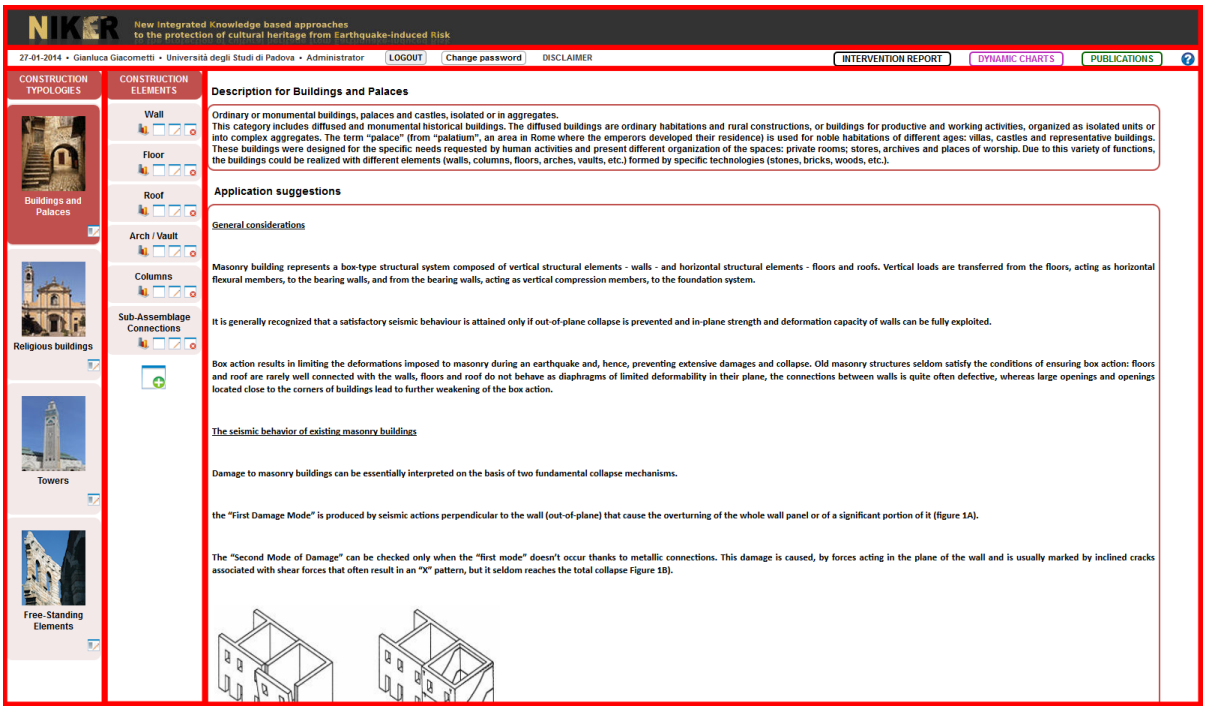


Figure 2: Screen areas

2.2 *SUB-AREAS*

When showing the Construction Elements details, area 5 is also divided into 4 sub-areas (and).

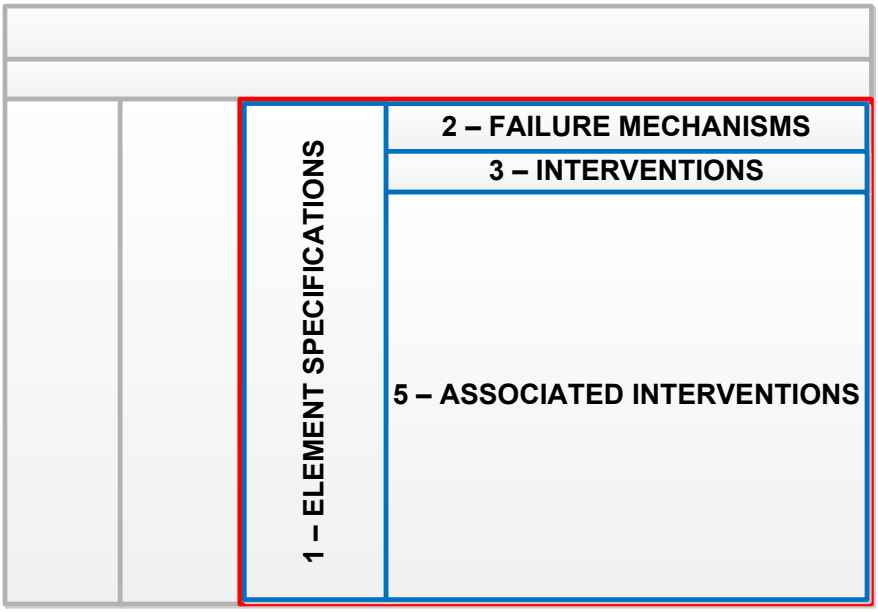


Figure 3: Scheme of the sub-areas of area 5 (Main Table)

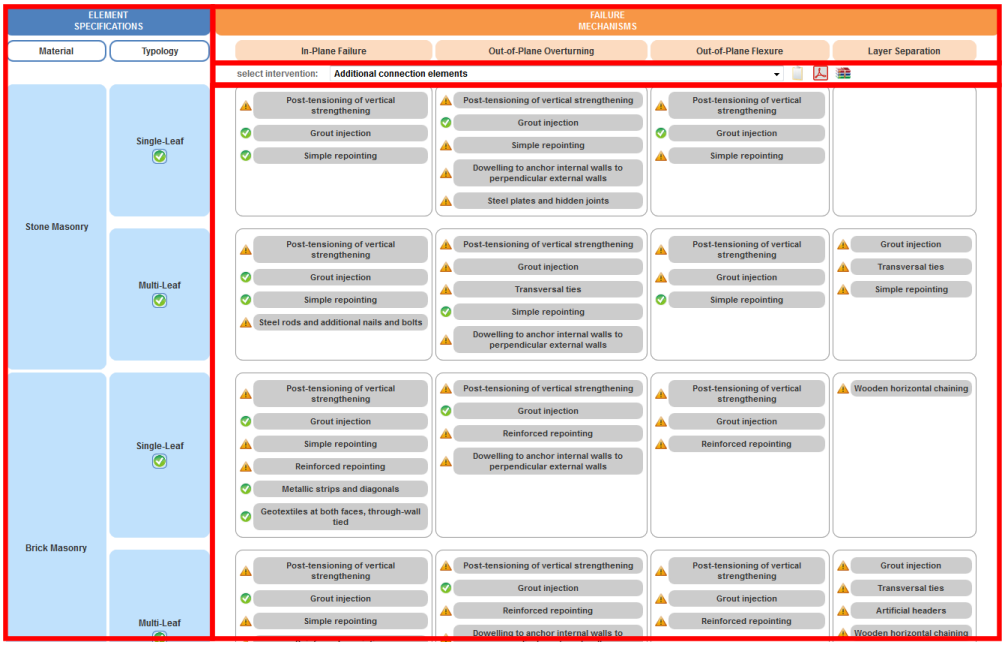


Figure 4: Sub-areas of area 5 (Main Table)

3 LOGIN

To log in the system you must insert a valid combination of username and password in the access form in the area 2 (Figure 1 and Figure 2) and press the LOGIN button (Figure 5).

Figure 5: Access form

You can retrieve a forgotten password if you are a registered user: click on the Forgot password? button (Figure 5), fill the form with a registered username and e-mail address and click on the RETRIEVE PASSWORD button (Figure 6).

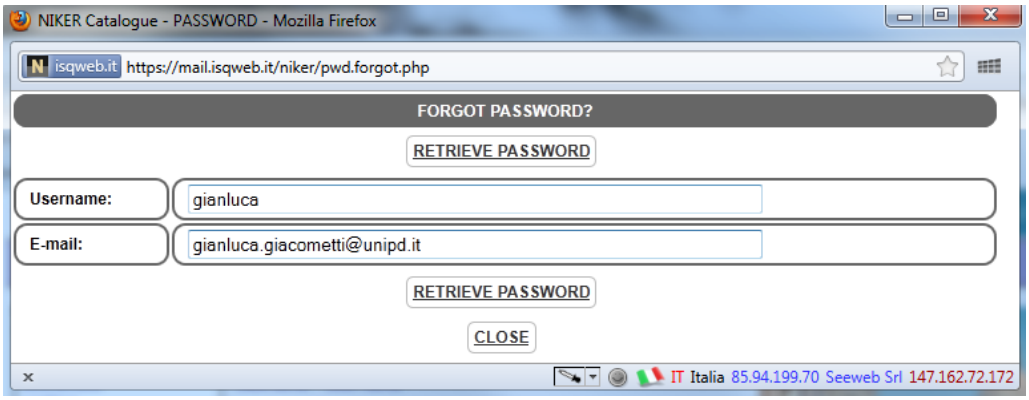


Figure 6: Retrieve password form

4 PERMISSIONS

There are two permission levels: "*User*" and "*Administrator*". The permission level appears beside the name of logged-in users (Figure 7).

Figure 7: Permission level specification

Users can create any kind of object but ***Construction Typologies*** and can edit and delete only the elements they create.

Administrators can create any kind of object but ***Construction Typologies*** and can edit and delete the elements created by all *Administrators* and *Users* of the same institution they belong to. *Administrators* can also modify ***Construction Typologies***.

5 PUBLICATIONS

Publications are managed a pop-up window (Figure 9) activated by clicking on the PUBLICATIONS button on the right side of the "Access Form and Tools" screen area (Figure 8).

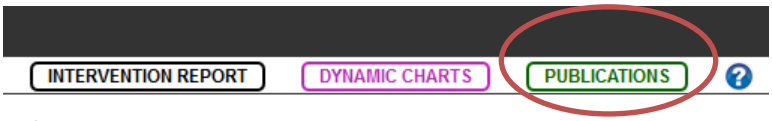


Figure 8: Publication button

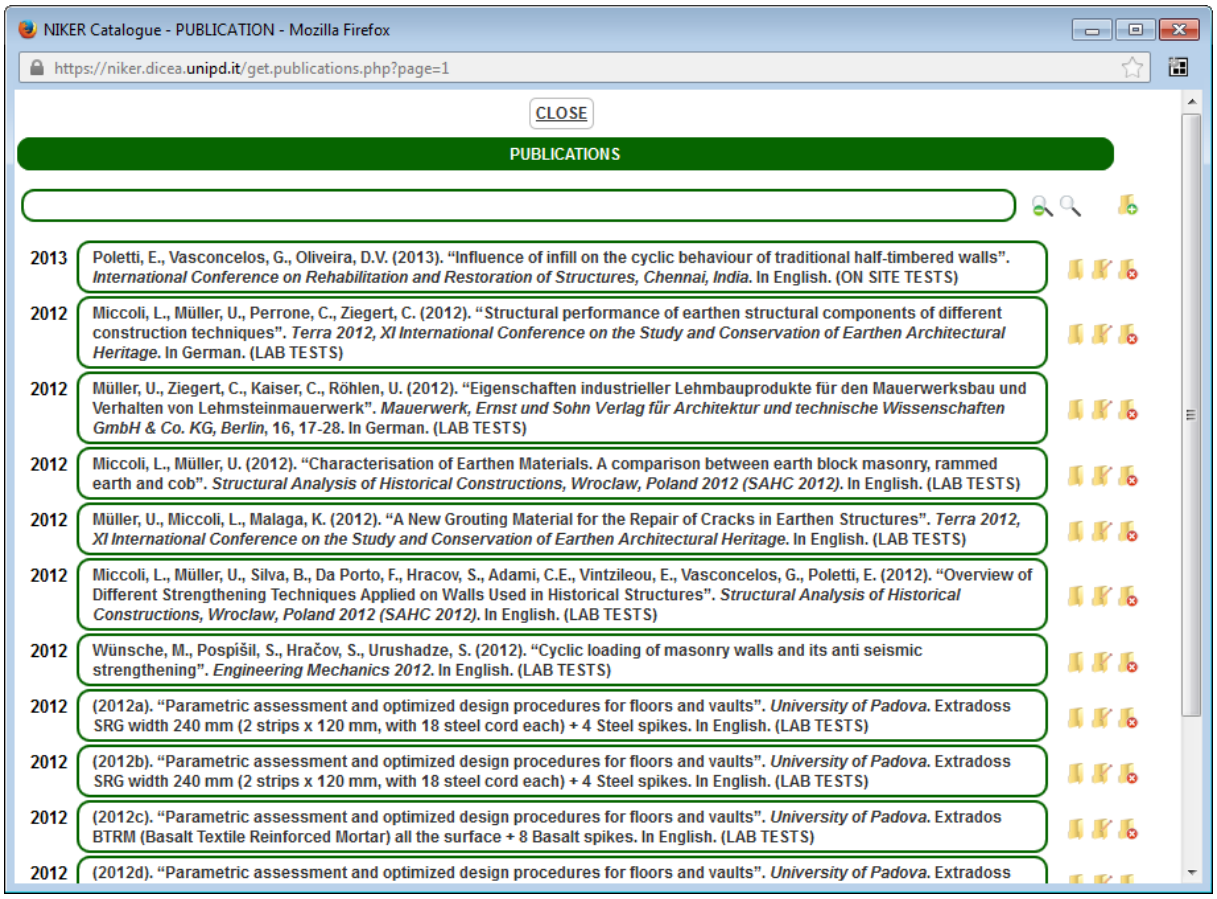


Figure 9: *Publication* list and management

Specific icons/buttons are available to perform actions on *Publications*:

- CLEAN SEARCH LINE
- PERFORM SEARCH
- ADD
- SHOW
- EDIT
- DELETE

5.1 *SEARCH*

The search line on the left of the related buttons (Clean Search Line and Perform Search) can be used to search a specific publication or group of publications. The search action is performed on all fields of *Publications* and in all fields of the related tables: *Sources* and *Authors*.

5.2 *SHOW*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Publication* (Figure 10).

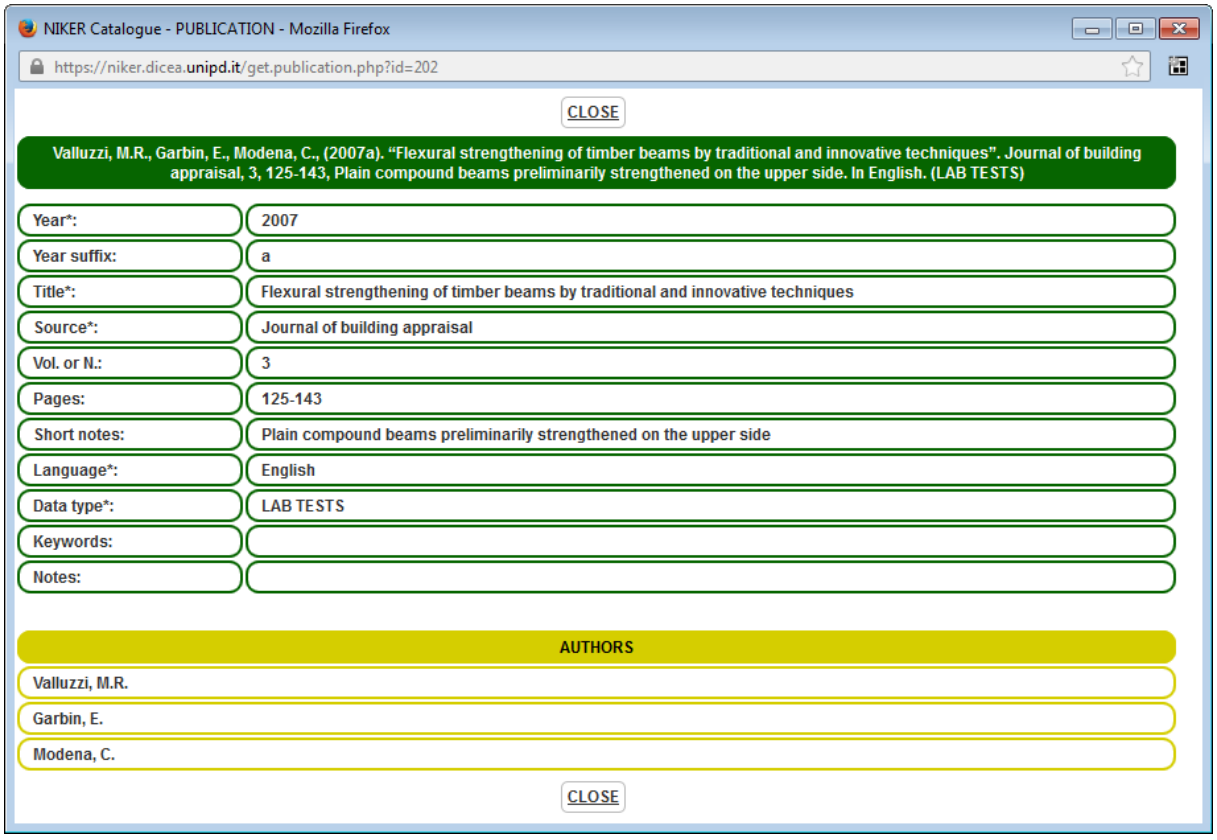


Figure 10: Pop-up window to show a *Publication*

5.3 *ADD*

The ADD button opens another pop-up window with the form to add a new *Publication* (Figure 11).

Available fields are: **Year**, **Year suffix**, **Title**, **Source**, **Vol. or N.**, **Pages**, **Short notes**, **Language**, **Data type**, **Keywords** and **Notes**. Mandatory fields are: **Year**, **Title**, **Source**, **Language** and **Data type**. All text fields are unformatted.

Publication will be in the form:

[Authors] ([Year][Year suffix]). "[Title]". [*Source*], ['Vol. or N.'], [Pages]. [Short notes]. In [Language]. ([Data type])

The field **Year suffix** is used to differentiate group of values coming from the same publication. This can be done “duplicating” the publications in the system adding this suffix to differentiate each one from the others.

Available languages are: Bulgarian, Czech. Danish, Duch, English, Estonian, Finnish, French, German, Greek, Hungarian, Irish, Italian, Latvian, Lithuanian, Maltese, Polish, Portuguese, Romanian, Slovak, Slovene, Spanish, Swedish, Russian and Turkish. You must contact the *System Administrator* to add new languages.

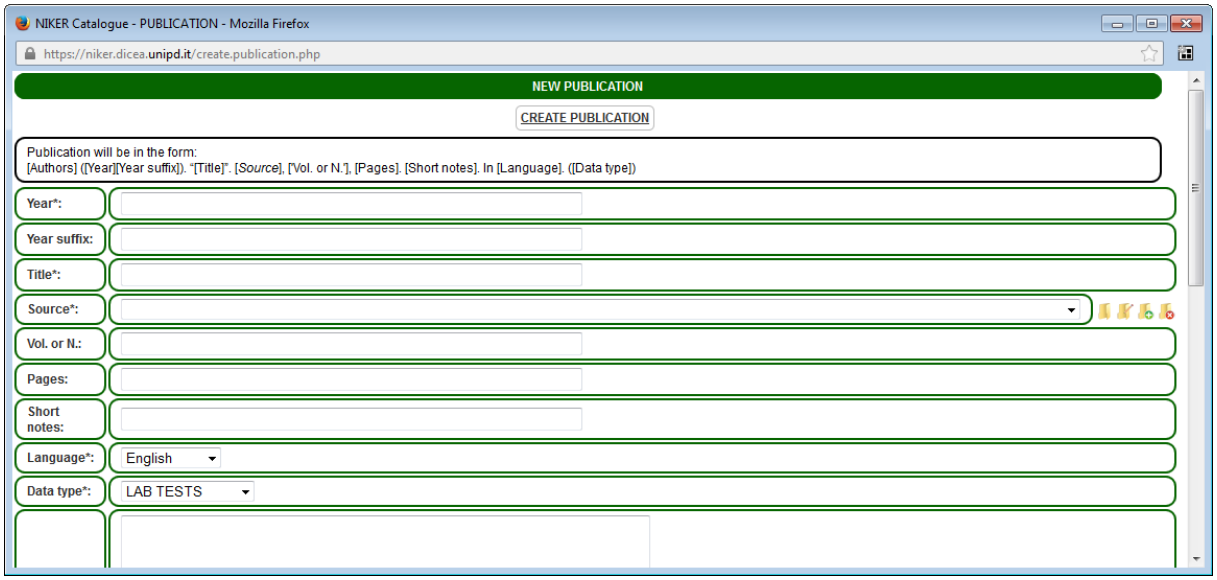


Figure 11: Pop-up window to add a *Publication*

Sources are selected from a pop-up list and the icons/buttons for their management are on the right of the input field. The management of *Sources* is described in paragraph 5.3.1.

Authors must be added before adding the new *Publication*. *Authors* are selected from the drop-down list at the bottom of the window (Figure 16) and added to the *Publication* with the icon/button . The icon/button is used to remove *Authors* from the *Publication*.

The field **Rank** is used to order the list of *Authors*. The lower is the **Rank** the upper is the *Author* in the list. The **Rank** is shown in the list before the name (Figure 16b).

The management of *Authors* is described in paragraph 5.3.2.

Click on the CREATE PUBLICATION button to save the new *Publication*.

5.3.1 Management of Sources

The possible actions on *Sources* are:

- ADD
- SHOW
- EDIT
- DELETE

5.3.1.1 *Show*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Source* (Figure 12).

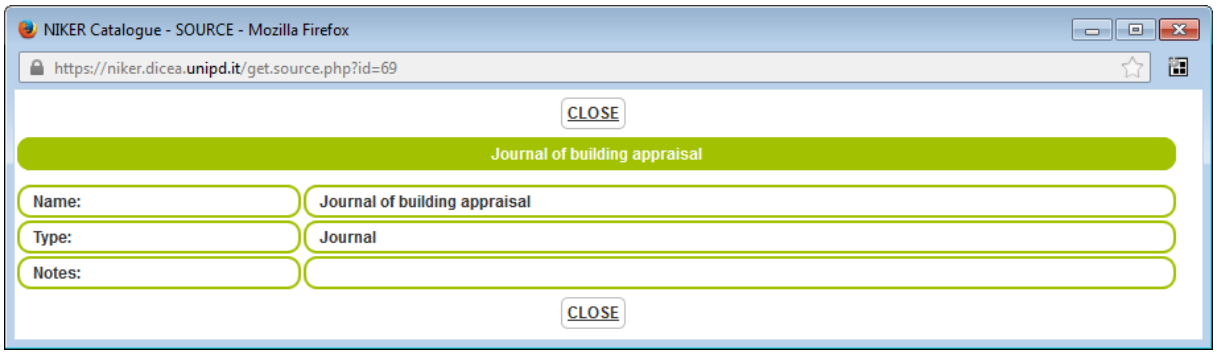


Figure 12: Pop-up window to show a *Source*

5.3.1.2 *Add*

The ADD button opens another pop-up window with the form to add a new ***Source*** (Figure 13).

Available fields are: **Name**, **Type** and **Notes**. Mandatory fields are: **Year** and **Type**. Available types are: Journal, Review, Conference Proceeding, BS Dissertation, MS Dissertation, PhD Dissertation, Standard / Recommendation, Book, Technical report and Web Publication. Contact the System Administrator if other types are needed. Click on the CREATE SOURCE button to save the new *Source*.

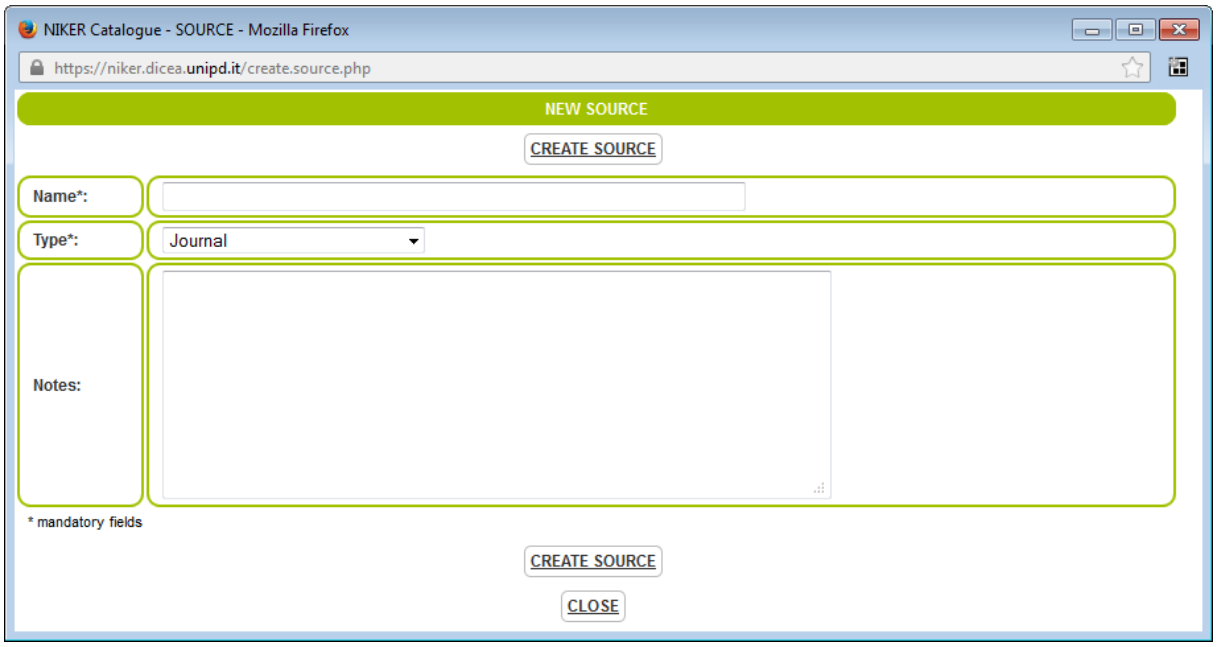


Figure 13: Pop-up window to add a new *Source*

5.3.1.3 *Edit*

The EDIT button opens another pop-up window (Figure 14) with the form to modify the *Source* shown as selected in the drop-down list.

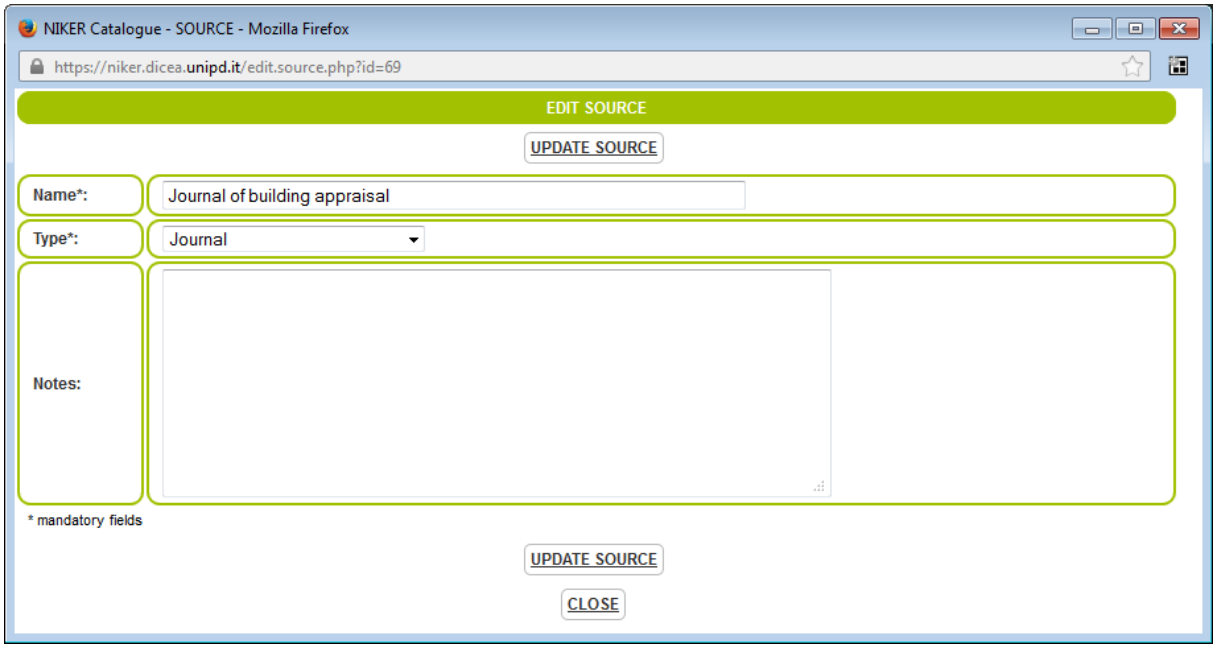


Figure 14: Pop-up window to edit a Source

Please refer to paragraph 5.3.1.2 for the description of the fields.
To save the record click on the UPDATE SOURCE button.

5.3.1.4 *Delete*

Only the *Sources* still not connected to any *Publications* can be deleted. The error message in Figure 15 shows if it's not allowed to delete the *Source*.

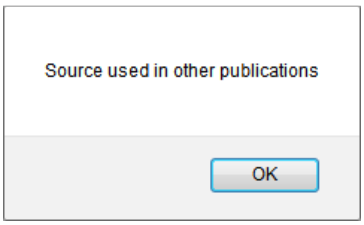
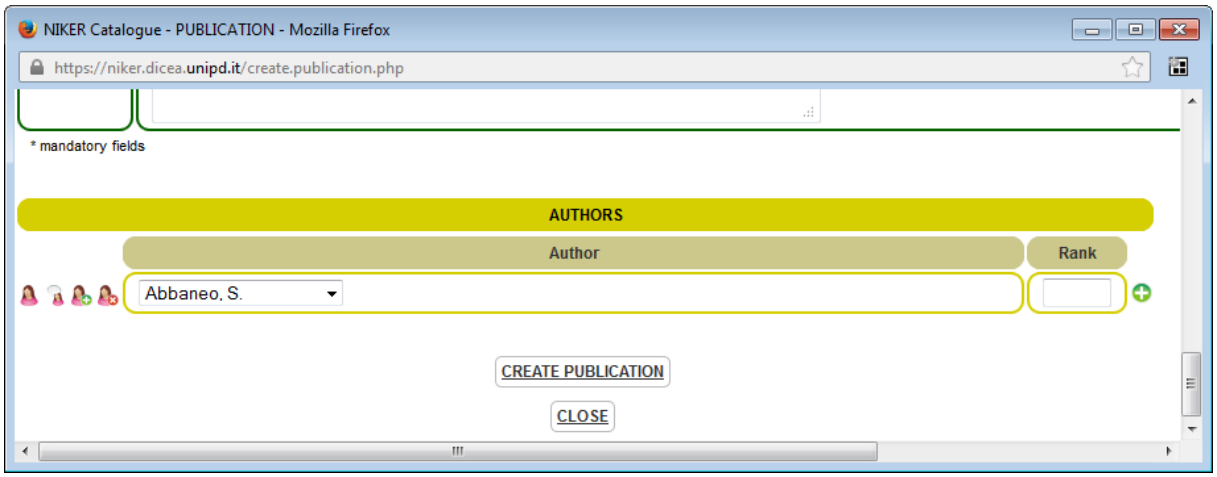


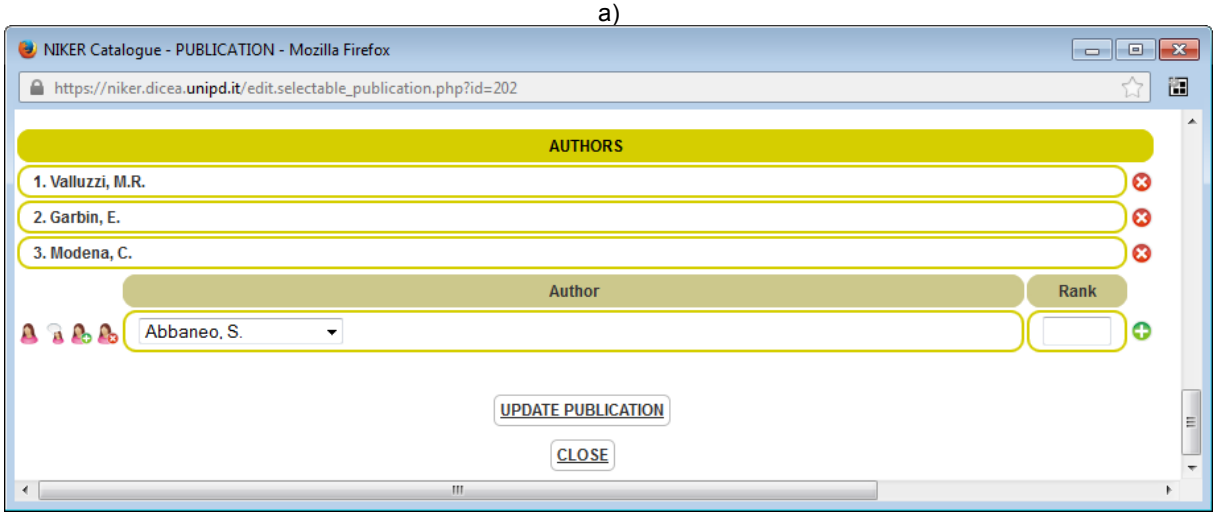
Figure 15: Error message if the Source is already used in other *Publications*

5.3.2 Management of Authors

The management of authors can be done indifferently on the "Add Publication" or "Edit Publication" pop-up windows(Figure 16) .



a)



b)

Figure 16: Bottom section of "Add Publication" (a) and "Edit Publication" (b) pop-up windows for the management of *Authors*

The possible actions on *Authors* are:

- SHOW
- EDIT
- ADD
- DELETE

The action is performed on the selected *Author* of the drop-down list (i.e. Abbaneo, S. in Figure 16)

5.3.2.1 *Show*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Author* (Figure 17).

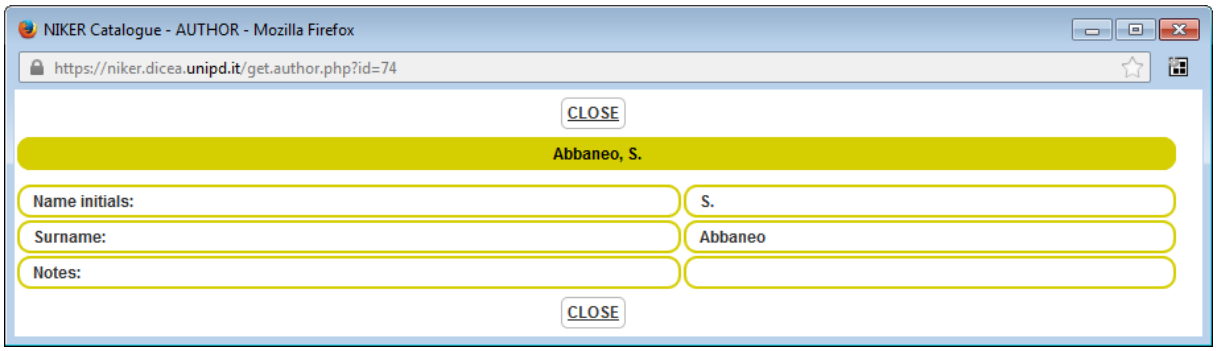


Figure 17: Pop-up window to show an *Author*

5.3.2.2 *Add*

The ADD button opens another pop-up window with the form to add a new *Author* (Figure 18).

Available fields are: **Name initials**, **Surname** and **Notes**. Mandatory fields are: **Name initials** and **Surname**.

The correct way of putting initials is capital letters followed by a dot without blank spaces in between (e.g. “M.R.”). The system tries anyway to correct a wrong input authomatically.

Click on the CREATE SOURCE button to save the new *Source*.

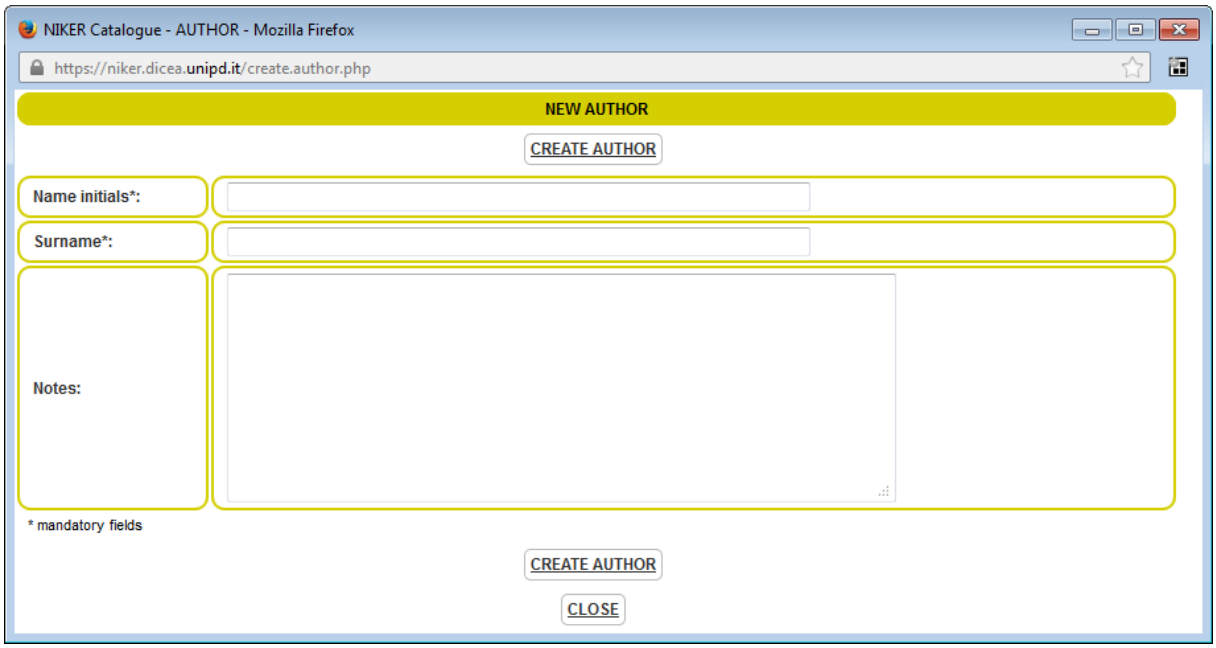


Figure 18: Pop-up window to add a new *Author*

5.3.2.3 *Edit*

The EDIT button opens another pop-up window () with the form to modify the *Author* shown as selected in the drop-down list.

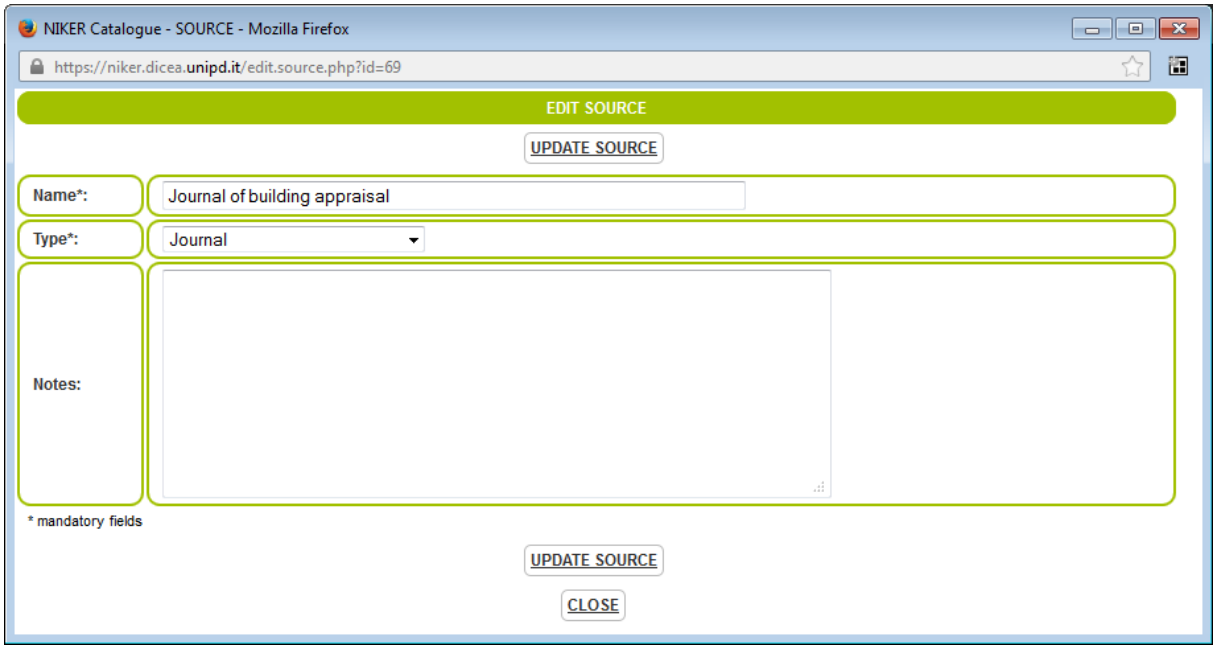


Figure 19: Pop-up window to edit an *Author*

Please refer to paragraph 5.3.2.2 for the description of the fields.
To save the record click on the UPDATE AUTHOR button.

5.3.2.4 *Delete*

Only the *Authors* still not connected to any *Publications* can be deleted. The error message in Figure 20 shows if it's not allowed to delete the *Author*.

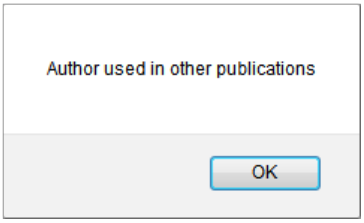


Figure 20: Error message if the *Author* is already used in other *Publications*

5.4 *EDIT*

The EDIT button opens another pop-up window (Figure 21) with the form to modify the selected *Publication*.

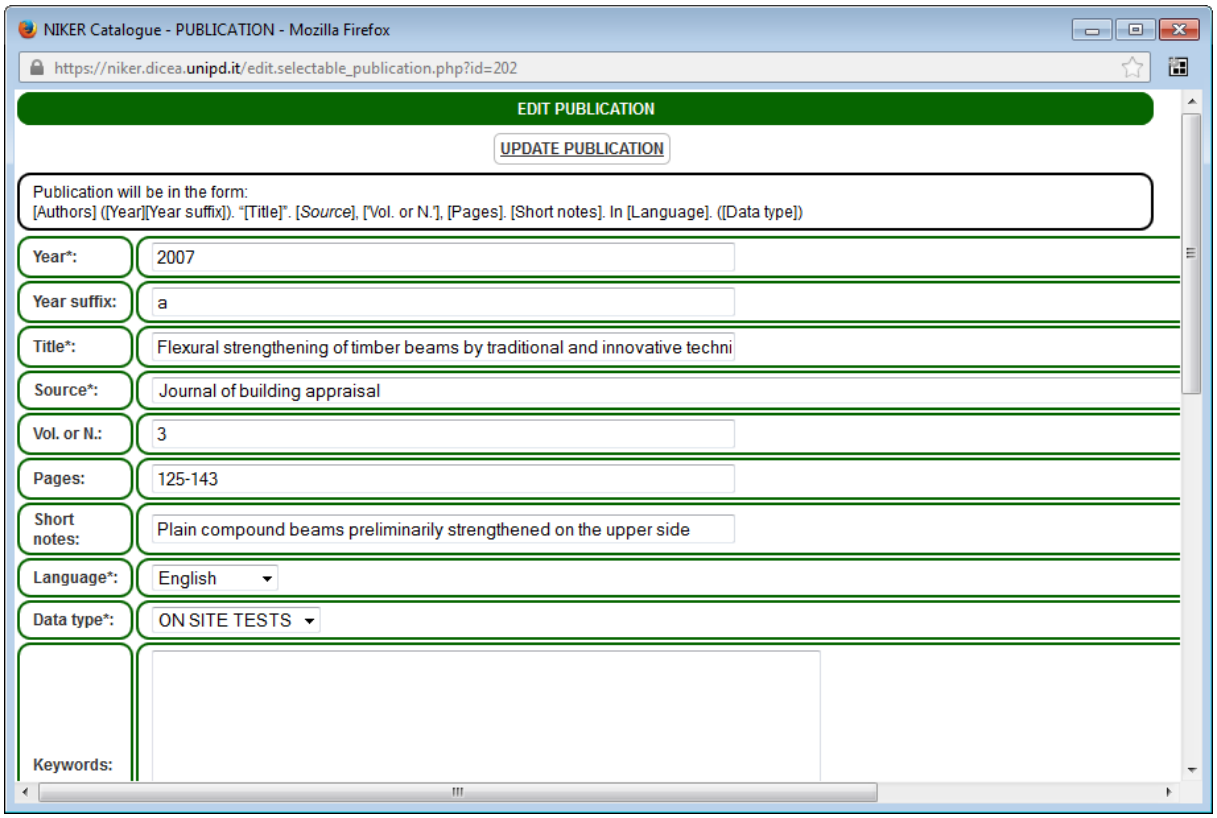


Figure 21: Pop-up window to edit a *Publication*

Please refer to paragraph 5.3 for the description of the fields and paragraphs 0 and 5.3.2 for the management of *Sources* and *Authors*.

To save the record click on the UPDATE PUBLICATION button.

5.5 *DELETE*

Only the *Publication* still not connected to any element in the system can be deleted. The error message in Figure 22 shows if it's not allowed to delete the *Publication*.

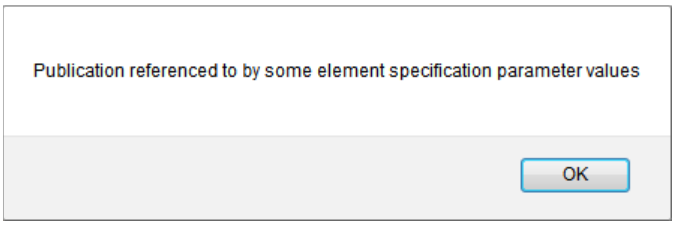
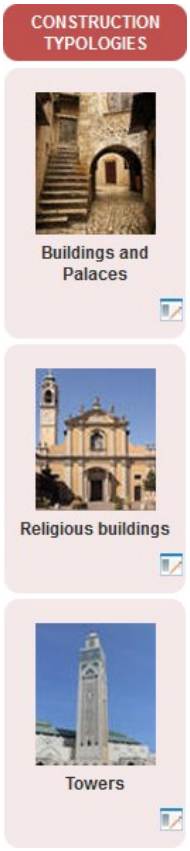


Figure 22: Error message if the *Publication* is already used in the system

6 CONSTRUCTION TYPOLOGIES



On the left of the screen (area 3) the list of the *Construction Typologies* already inserted in the system is shown. Only the *System Administrator* can insert or delete new *Construction Typologies*. Please refer to him/her to perform such actions.

Only *Administrators* can modify *Construction Typologies* by clicking on the specific icon/button:

EDIT

A new window pops up to edit the selected *Construction Typology* (Figure 23).

6.1 *EDIT*

The pop-up window with the form to update a *Construction Typology* is shown in Figure 23.

Available fields are: **Name**, **Picture**, **Description**, **Application suggestions**, **Rank**, **Notes**. The only mandatory field is **Name**, which must also be unique within the same *Construction Typology*.

The field **Rank** is used to set the position of the element in the list. In case the value of the field is the same for two elements the sorting will be done alphabetically by **Name**. **Picture** size must be maximum 3Mb, **Description** is a simple text field and **Application suggestion** is a text field which can be formatted with a special on-line editor.

Description and **Application suggestions** shows on the right part of the screen if a *Construction Typology* is selected.

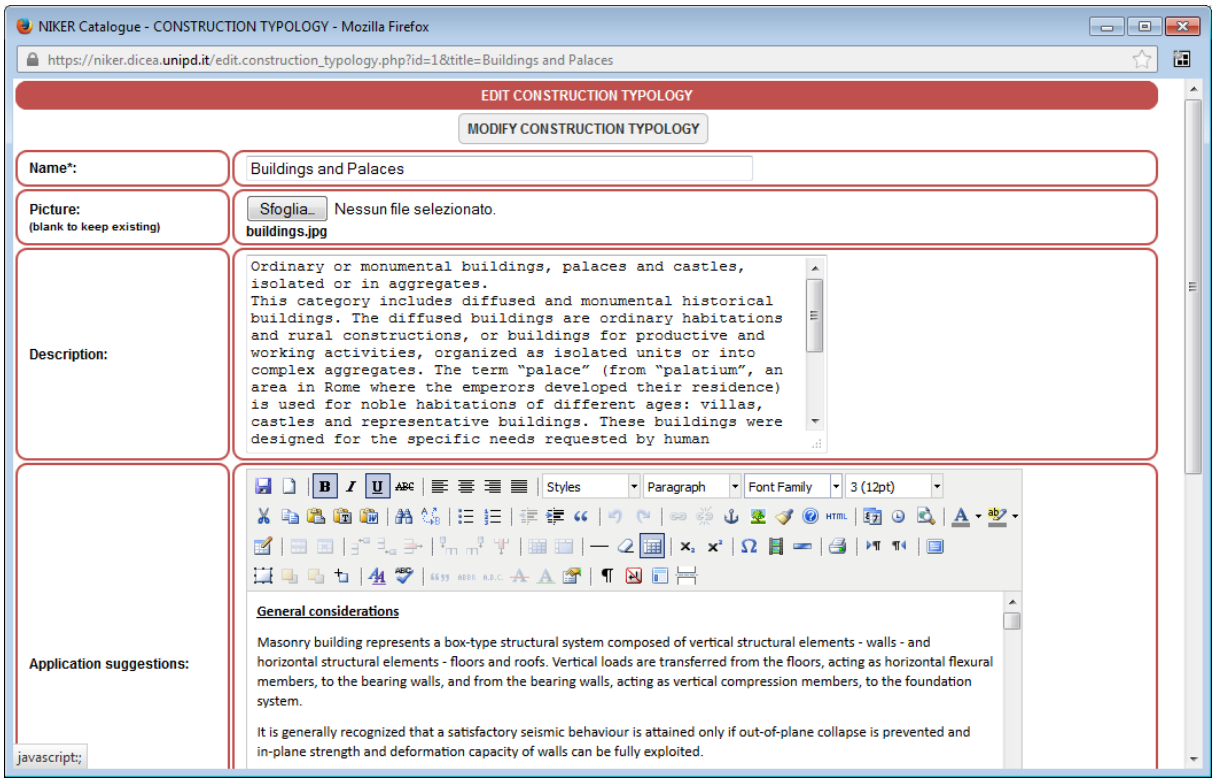
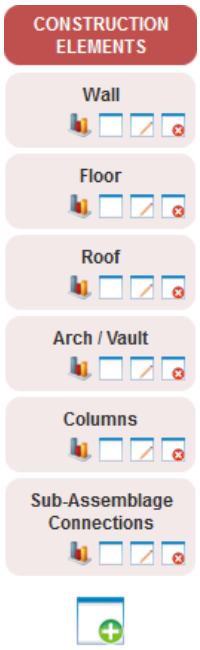


Figure 23: Pop-up window to edit a *Construction Typology*

7 CONSTRUCTION ELEMENTS



Moving from left to right (area 4), beside the *Construction Typologies* there is the list of the *Construction Elements*. Anyone can insert, modify or delete *Construction Elements*, with the permission limitations described in paragraph 0.

Specific icons/buttons are available to perform actions on *Construction Elements*:

- VIEW
- EDIT
- DELETE
- ADD
- PLOT RECAPITULATORY CHART

A new window pops up for each selected action.

If you are not allowed to edit or delete an object the system forbids the operation (Figure 24).

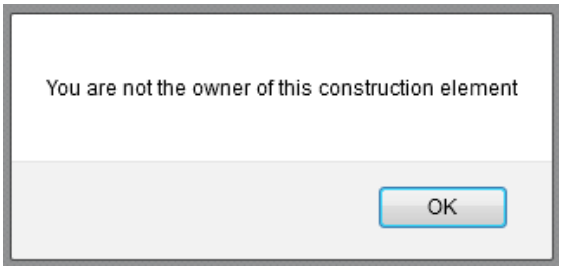


Figure 24: Permission alert

If a *Construction Element* has a description, it will appear at the bottom of the main page when the *Construction Element* is selected.

7.1 *SHOW*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Construction Element* (Figure 25).

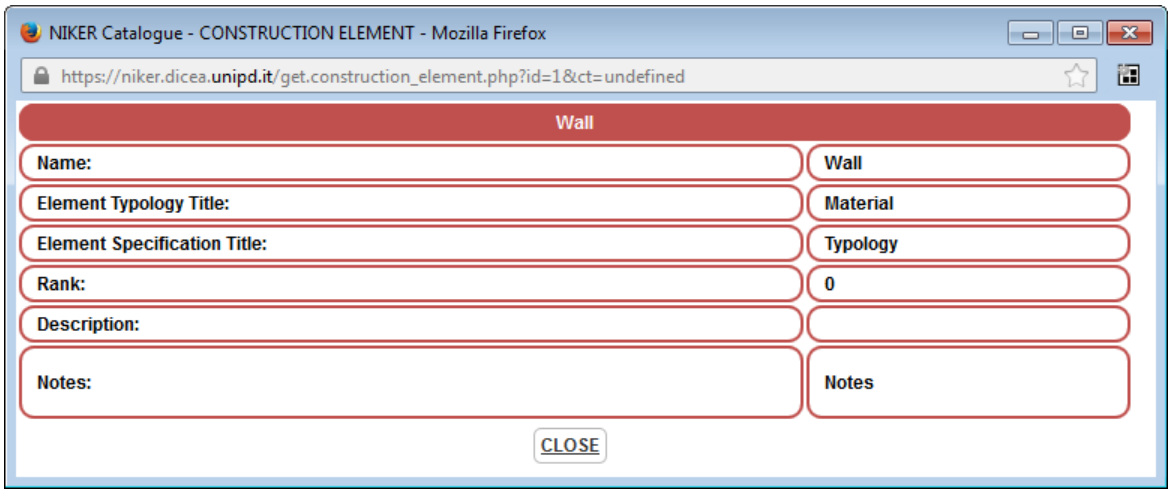


Figure 25: Pop-up window to show a *Construction Element*

7.2 *ADD*

The pop-up window with the form to add a new *Construction Element* is shown in Figure 27.

Available fields are: **Name**, **Element Typology Title, Element Specification Title**, **Rank**, **Description** and **Notes**. Mandatory fields are: **Name**, **Element Material Title** and **Element Typology Title**. **Name** must also be unique within the same *Construction Typology*.

The field **Rank** is used to set the position of the element in the list. In case the value of the field is the same for two elements the sorting will be done alphabetically by **Name**. All text fields can be formatted with a special on-line editor.

Element Material Title and **Element Typology Title** will be the headings of the *Element Specifications* connected to the *Construction Element* (Figure 26).

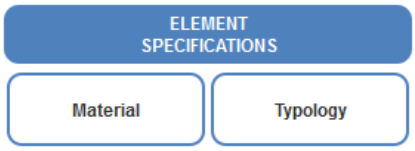


Figure 26: Headings of *Construction Elements*

To save the record click on the CREATE CONSTRUCTION ELEMENT button.

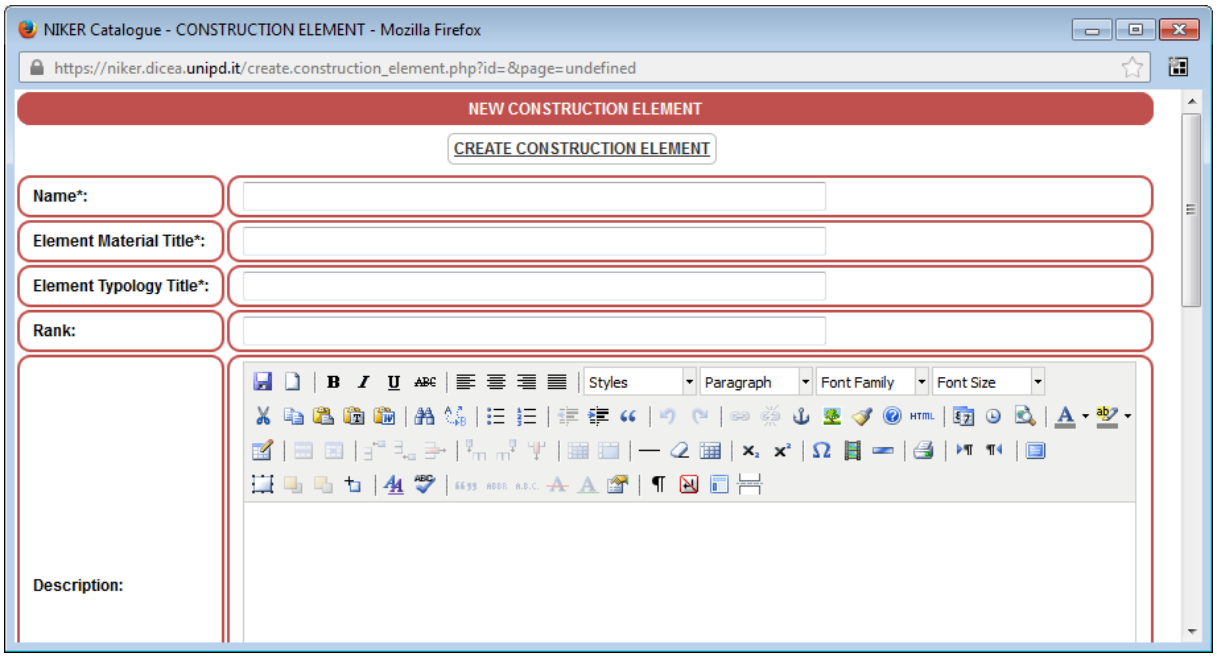


Figure 27: Pop-up window to add a new *Construction Element*

7.3 *EDIT*

The pop-up window with the form to update a *Construction Element* is shown in Figure 28. Please refer to paragraph 7.1 for the description of the fields.

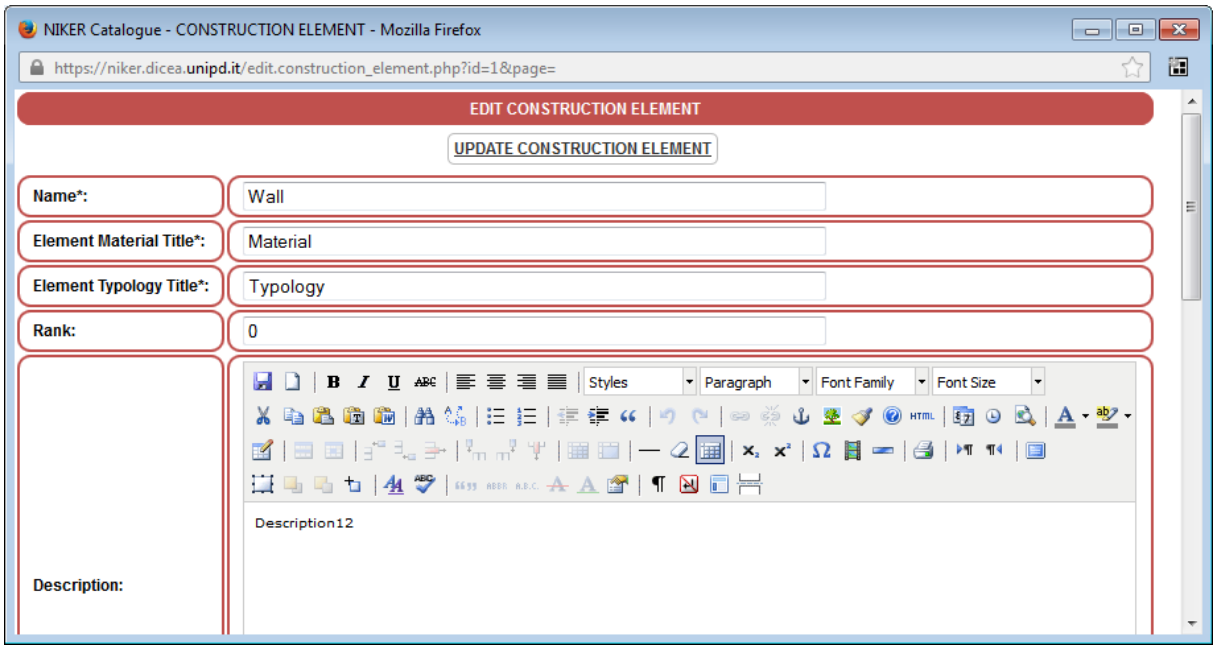


Figure 28: Pop-up window to edit a *Construction Element*

To save the record click on the UPDATE CONSTRUCTION ELEMENT button.

7.4 *DELETE*

IMPORTANT: Be careful that deleting a *Construction Element* will delete also all its child elements: *Element Specifications*, *Failure Mechanisms* and *Intervention Cross-correlations* (not the *Interventions* themselves).

The delete action needs to be confirmed (Figure 29).

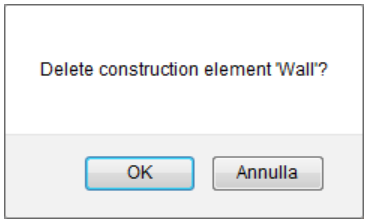


Figure 29: Confirm *Construction Element* delete action

7.5 *PLOT RECAPITULATORY CHART*

The recapitulatory chart appears in a new pup-up window (Figure 30). It shows the number of *Element Specifications* and *Failure Mechanisms* connected to the selected *Construction Element*.

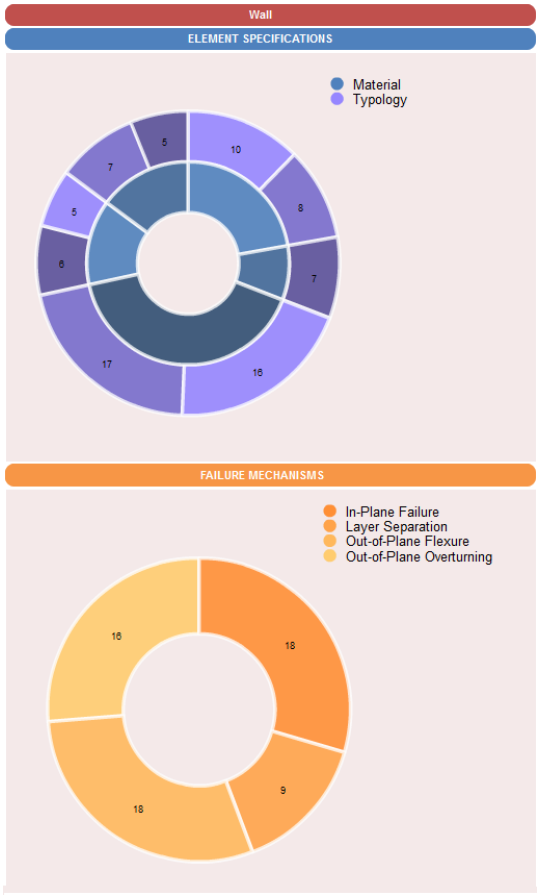
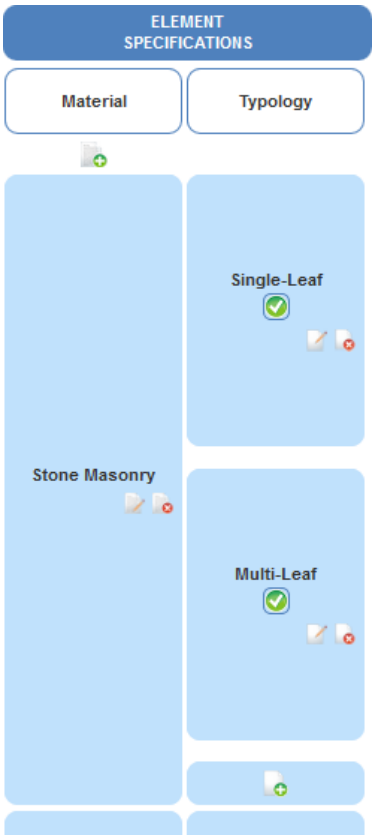


Figure 30: Recapitulatory chart for *Construction Elements*

8 ELEMENT SPECIFICATIONS



Selecting a specific *Construction Element,* makes the Main Table (area 5) being populated with the *Element Specifications* and *Failure Mechanisms* connected to such element, and with the *Interventions* associated to both *Element Typologies* and *Failure Mechanisms*.

Anyone can insert, modify or delete *Construction Elements*, with the permission limitations described in paragraph 0.

Specific icons/buttons are available to perform actions on both *Materials*:

- ADD
- EDIT
- DELETE

and *Typologies*:

- ADD
- EDIT
- DELETE

A new window pops up for each selected action for both objects.

IMPORTANT: The title of each column (*Material* and *Typology*) is arbitrary but mandatory and must be set within each *Construction Element* (paragraph 7.2). Within the system the name of the field is respectively “element typology” and “element specification”.

If a user is not allowed to edit or delete an object the system forbids the operation:

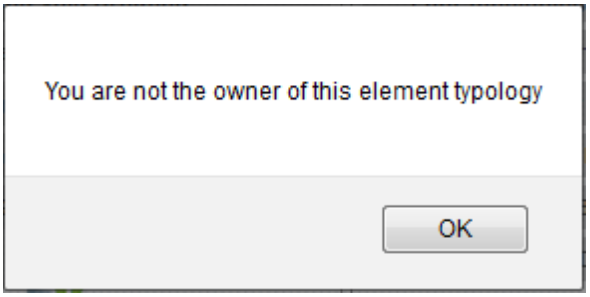


Figure 31: Error message if the a user is not allowed to edit or delete an *Element Specification* object

Below the *Typology* name, a symbol indicates the knowledge level of such *Typology* in terms of physical, mechanical and geometrical parameters as described in Table 1.

Table 1: Symbols used for the knowledge level of *Typologies*

	No pre-intervention parameter defined
	At least one pre-intervention parameter defined, but without any numerical values
	At least one pre-intervention parameter defined, and at least one numerical value present

8.1 *FIRST LEVEL: MATERIAL (ELEMENT TYPOLOGY)*

8.1.1 Add

The pop-up window with the form to add a new *Material*[9] for *Element Specifications* is shown in Figure 32.

Available fields are: **Name**, **Rank** and **Notes**. Mandatory field is just **Name**, which must also be unique within the same *Element Specification*.

The field **Rank** is used to set the position of the element in the list. In case the value of the field is the same for two elements the sorting will be done alphabetically by **Name**. **Note** field can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE MATERIAL button.

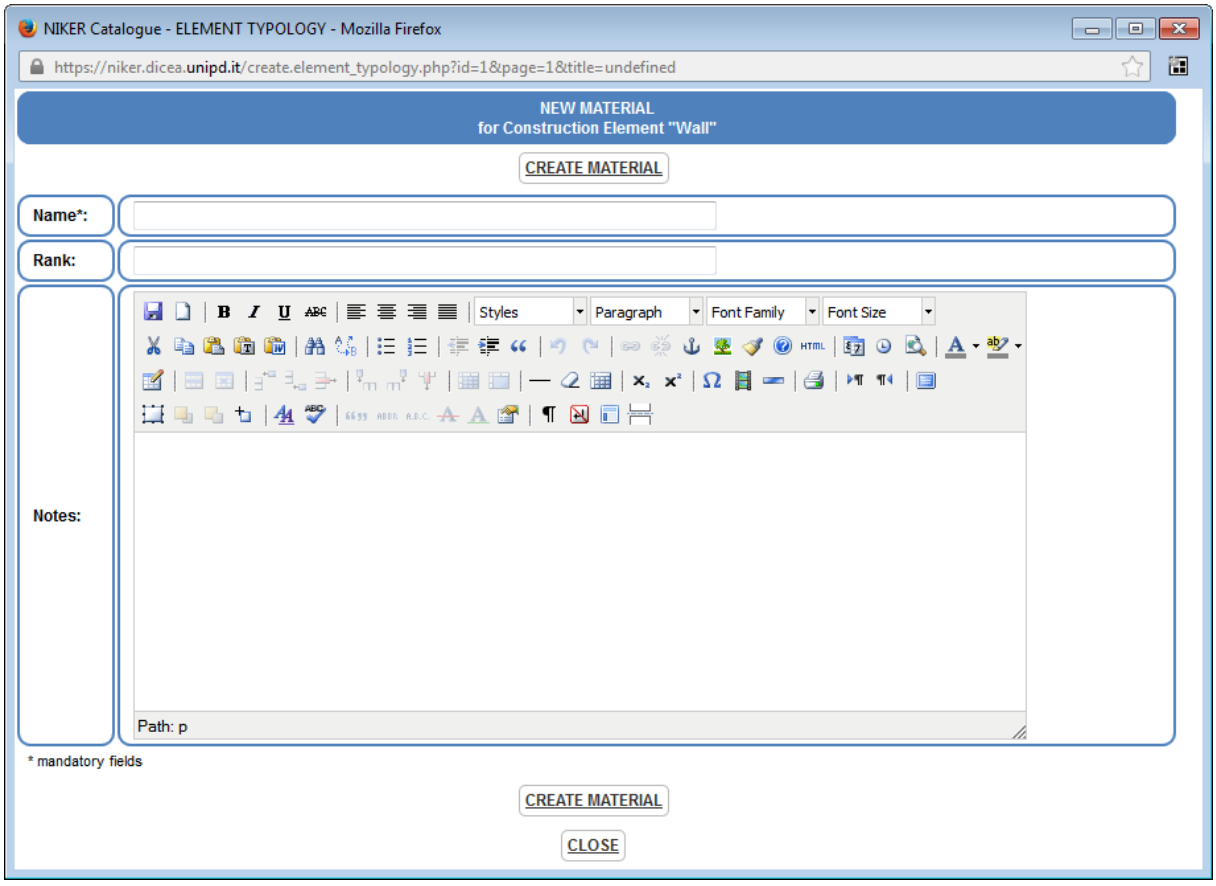


Figure 32: Pop-up window to add a new *Material* for *Element Specifications*

[9] The name “Material” is arbitrary and is chosen as an example because it represents the right term to describe the first level of Element Specifications for most of the Construction Elements.

8.1.2 Edit

The pop-up window with the form to update a *Material* is shown in Figure 33. Please refer to paragraph 8.1.1 for the description of the fields.

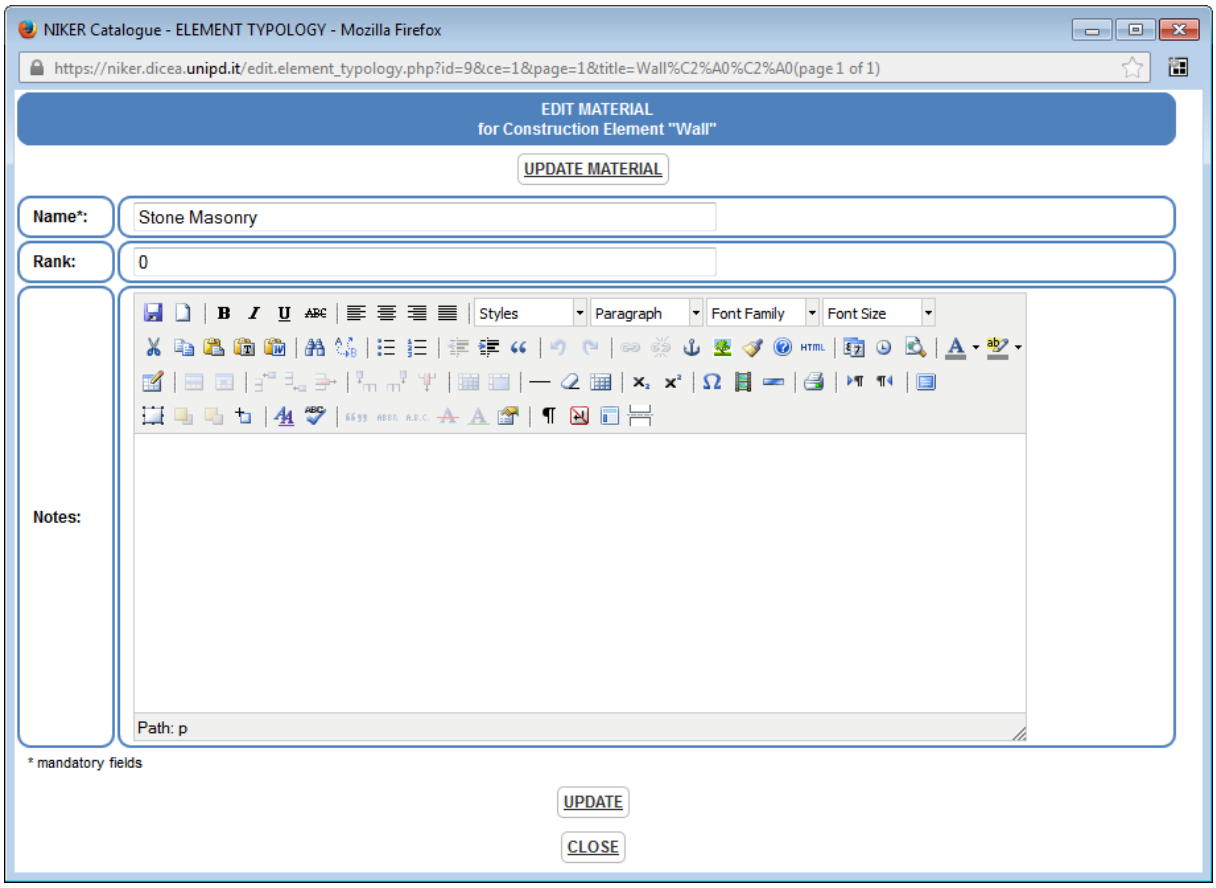


Figure 33: Pop-up window to edit a *Material* for *Element Specifications*

To save the record click on the UPDATE MATERIAL button.

8.1.3 Delete

IMPORTANT: Be careful that deleting a *Material (element typology)* will delete also all its child elements: *Typologies (element specifications)*, and *Intervention Cross-correlations* (not the *Interventions* themselves).

The delete action needs to be confirmed (Figure 29).

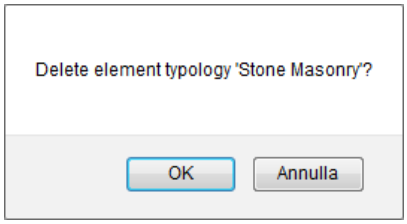


Figure 34: Confirm *Material* delete action

8.2 *SECOND LEVEL: TYPOLOGY (ELEMENT SPECIFICATION)*

8.2.1 Add

The pop-up window with the form to add a new *Typology*[10] for *Element Specifications* is shown in Figure 35.

Available fields are: **Name**, **Picture**, **Description**, **Rank** and **Notes**. Mandatory field is just **Name**, which must also be unique within the same *Material*.

The field **Rank** is used to set the position of the element in the list. In case the value of the field is the same for two elements the sorting will be done alphabetically by **Name**. All text fields can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE TYPOLOGY button.

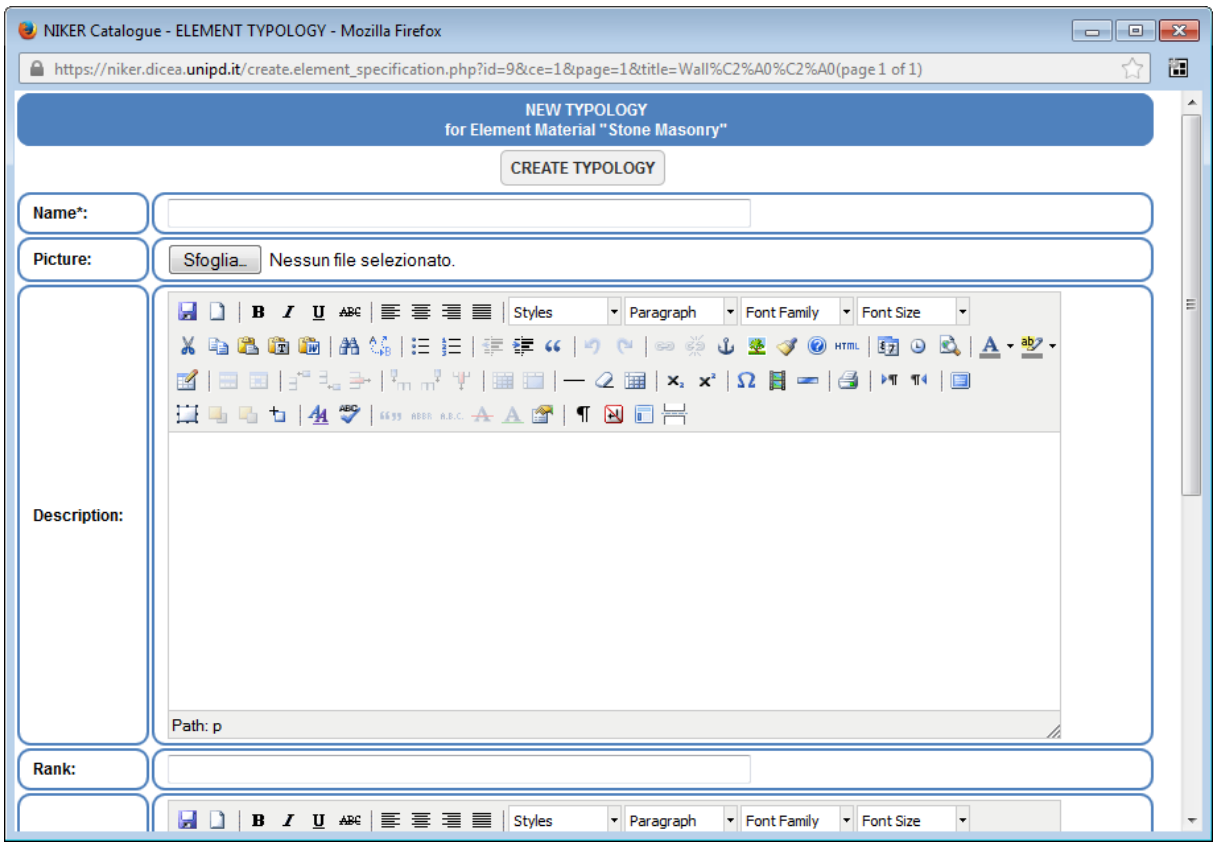


Figure 35: Pop-up window to add a new *Typology* for *Element Specifications*

8.2.2 Edit

The pop-up window with the form to update a *Typology* is shown in Figure 36.
Please refer to paragraph 8.2.1 for the description of the fields.

[10] The name “Typology” is arbitrary and is chosen as an example because it represents the right term to describe the second level of Element Specifications for most of the Construction Elements.

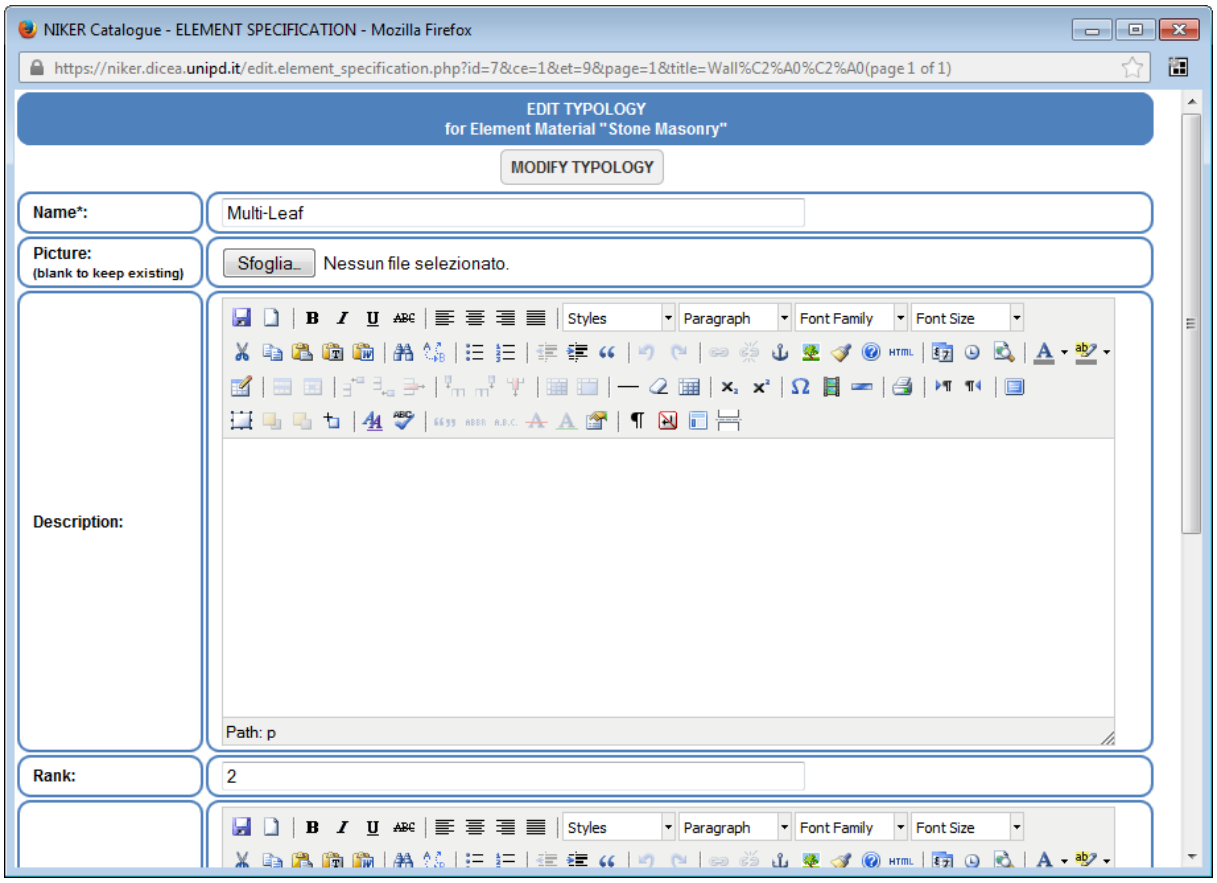


Figure 36: Pop-up window to edit a *Typology* for *Element Specifications*

To save the record click on the MODIFY TYPOLOGY button.

8.2.3 Delete

IMPORTANT: Be careful that deleting a *Typology* will delete also all its child *Intervention Cross-correlations* (not the *Interventions* themselves).

The delete action needs to be confirmed (Figure 37).

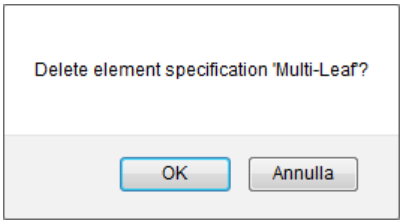


Figure 37: Confirm *Typology* delete action

8.3 *PRE-INTERVENTION AND COMPONENT PARAMETERS*

Selecting a second-level element specification object (*Typology*) makes the pre-intervention and component parameters to show in a row just underneath the object name (Figure 38).

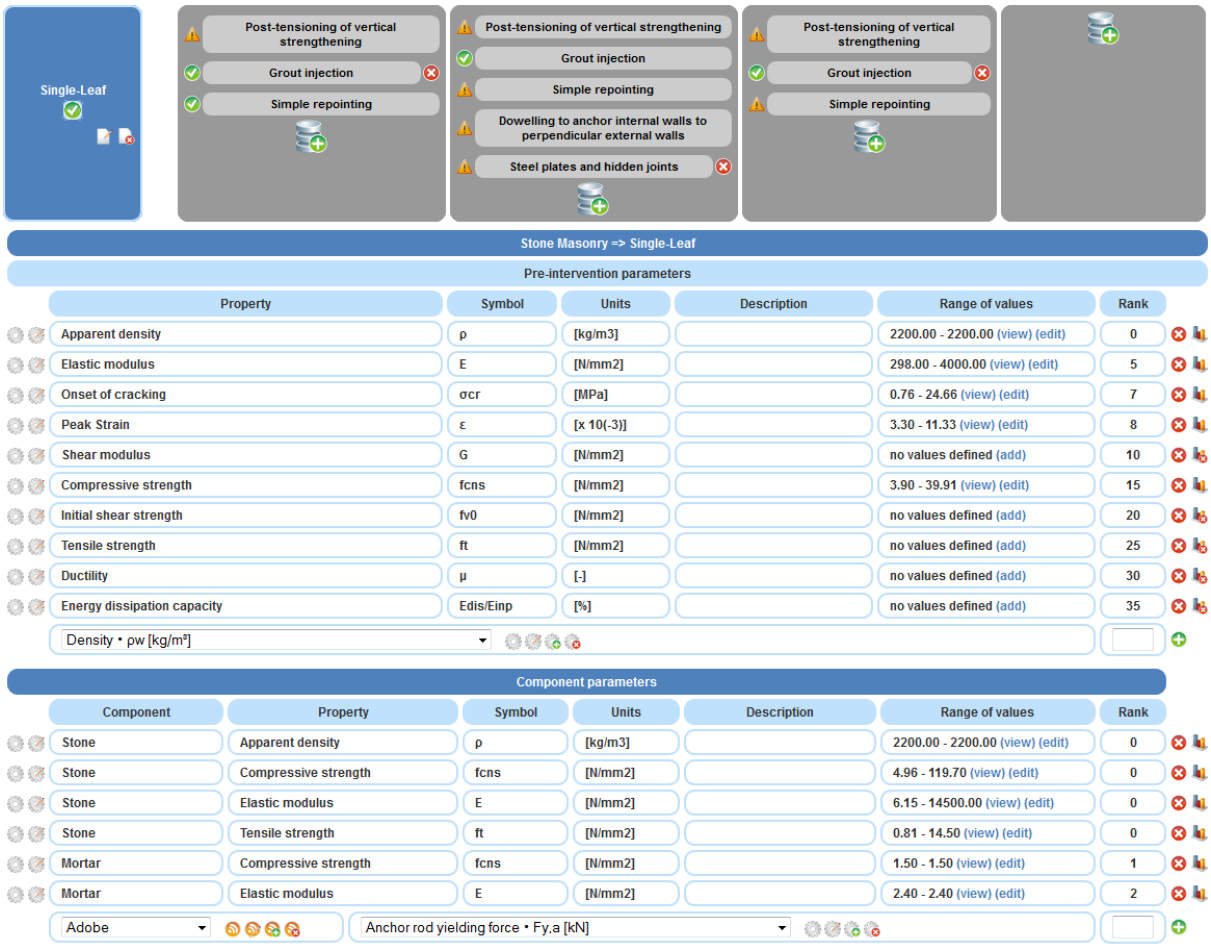


Figure 38: *Pre-intervention* and *component parameters*

Within this area 4 activities can be performed: management of *Parameters*, management of *Components* and connecting existing parameters to the *Typology* as *Pre-intervention parameters* or, together with a *Component*, as *Component parameters*.

8.3.1 Management of parameters

The management of *Parameters* can be done in a specific area shown in Figure 39 which can be found both in the pre-intervention and in the component areas. The drop-down menu allows to select the *Parameter* for both management and connection.

Figure 39: Management area for *Parameters*

The management activity is performed using the icons/buttons right beside the menu. Available actions are:

- SHOW
- EDIT
- ADD
- DELETE

8.3.1.1 *Show*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Parameter* (Figure 40).

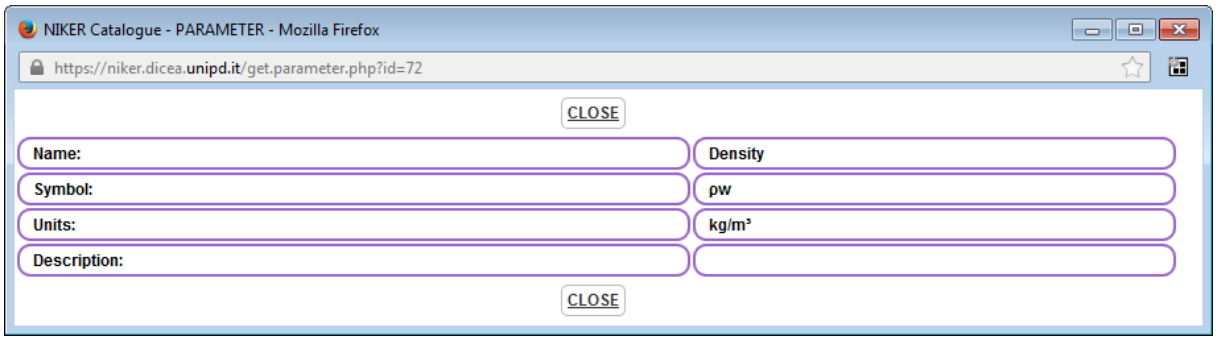


Figure 40: Pop-up window to show a *Parameter*

8.3.1.2 *Add*

The pop-up window with the form to add a new *Parameter* is shown in Figure 41.

Available fields are: **Name**, **Symbol, Units**, and **Description**. Mandatory fields are **Name** and **Symbol**. **Name** must be unique within the system.

No text fields can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE PARAMETER button.

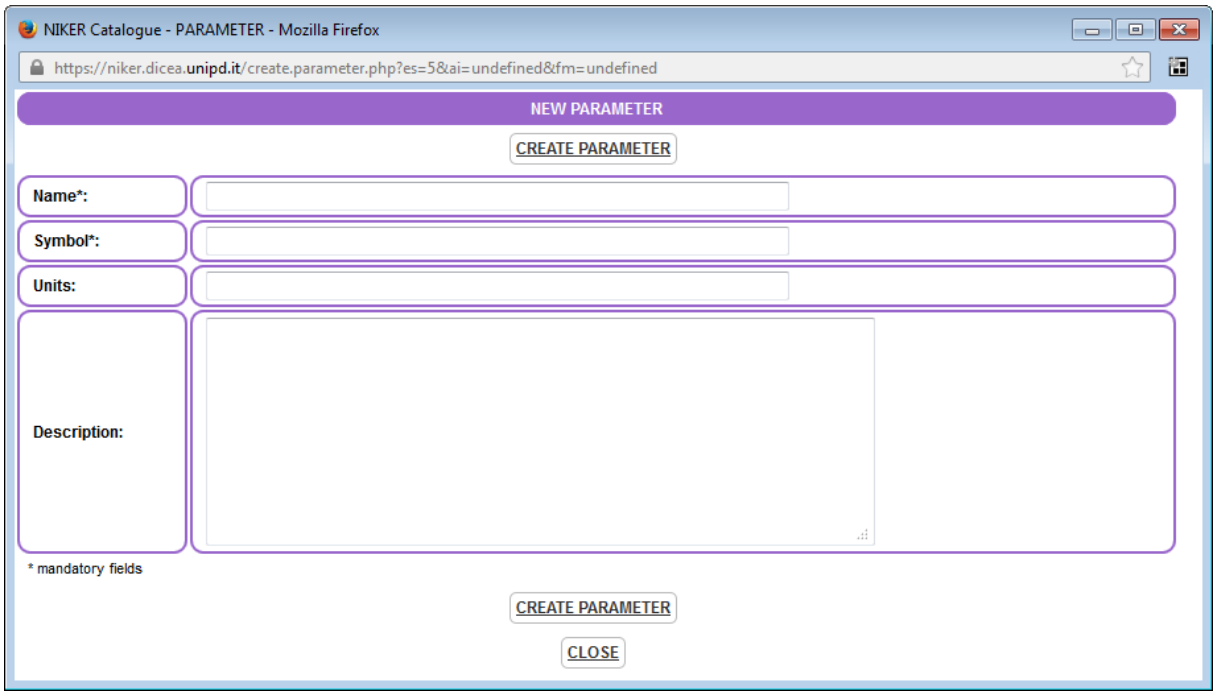


Figure 41: Pop-up window to add a new *Parameter*

8.3.1.3 *Edit*

The pop-up window with the form to update a *Parameter* is shown in Figure 42. Please refer to paragraph 7.1 for the description of the fields.

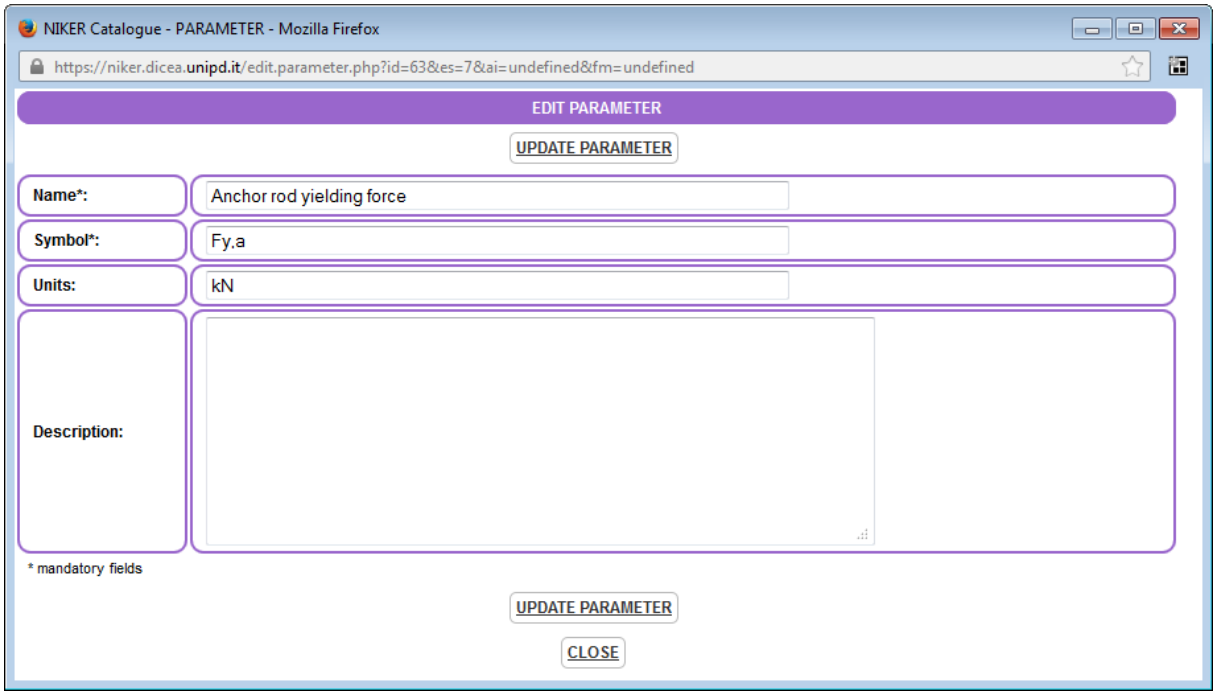


Figure 42: Pop-up window to edit a *Parameter*

To save the record click on the UPDATE PARAMETER button.

8.3.1.4 *Delete*

You are not allowed to delete a *Parameter* if it's already used somewhere within the system (Figure 43). If the *Parameter* can be deleted the system asks anyway to confirm the action.

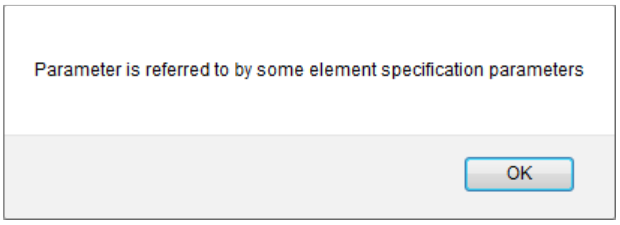


Figure 43: Error if not allowed to delete a *Parameter*

8.3.2 Management of components

The management of *Components* can be done in a specific area shown in Figure 39 which can be found both in the pre-intervention and in the component areas. The drop-down menu allows to select the *Parameter* for both management and connecting.

Figure 44: Management area for *Components*

The management activity is performed using the icons/buttons right beside the menu. Available actions are:

- SHOW
- EDIT
- ADD
- DELETE

8.3.2.1 *Show*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Component* (Figure 45).

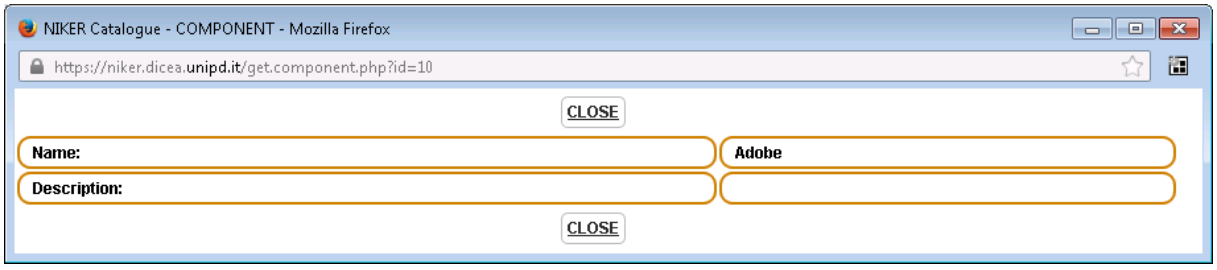


Figure 45: Pop-up window to show a *Component*

8.3.2.2 *Add*

The pop-up window with the form to add a new *Component* is shown in Figure 46.

Available fields are: **Name** and **Description**. The only mandatory field is **Name**, which also must be unique within the system.

No text fields can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE COMPONENT button.

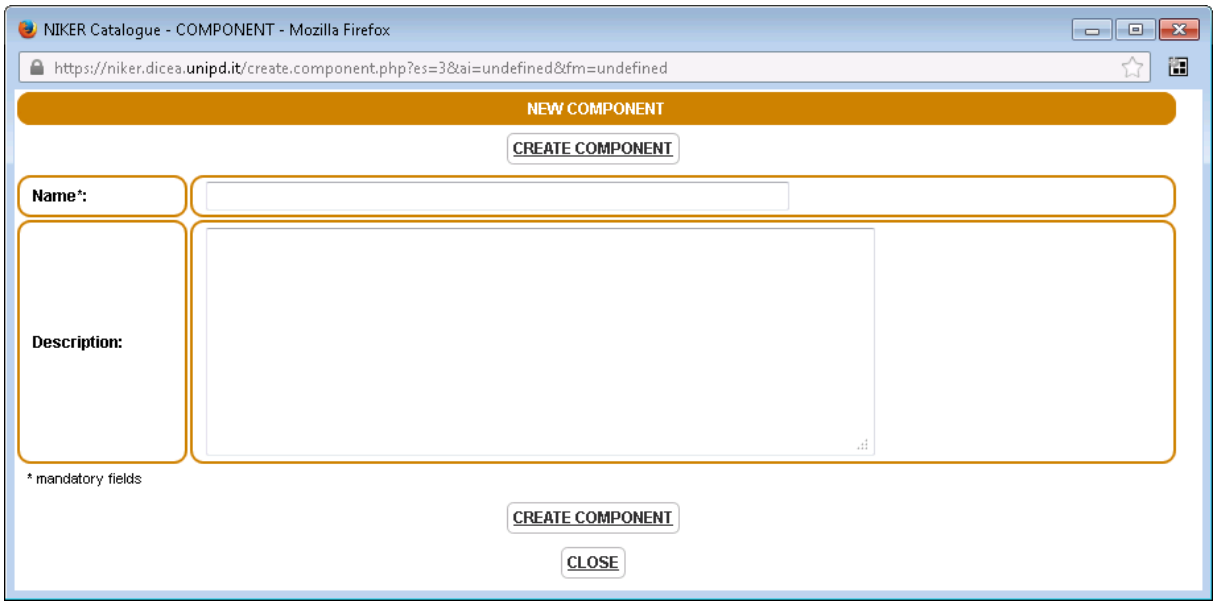


Figure 46: Pop-up window to add a new *Component*

8.3.2.3 *Edit*

The pop-up window with the form to update a *Component* is shown in Figure 47. Please refer to paragraph 8.3.2.2 for the description of the fields.

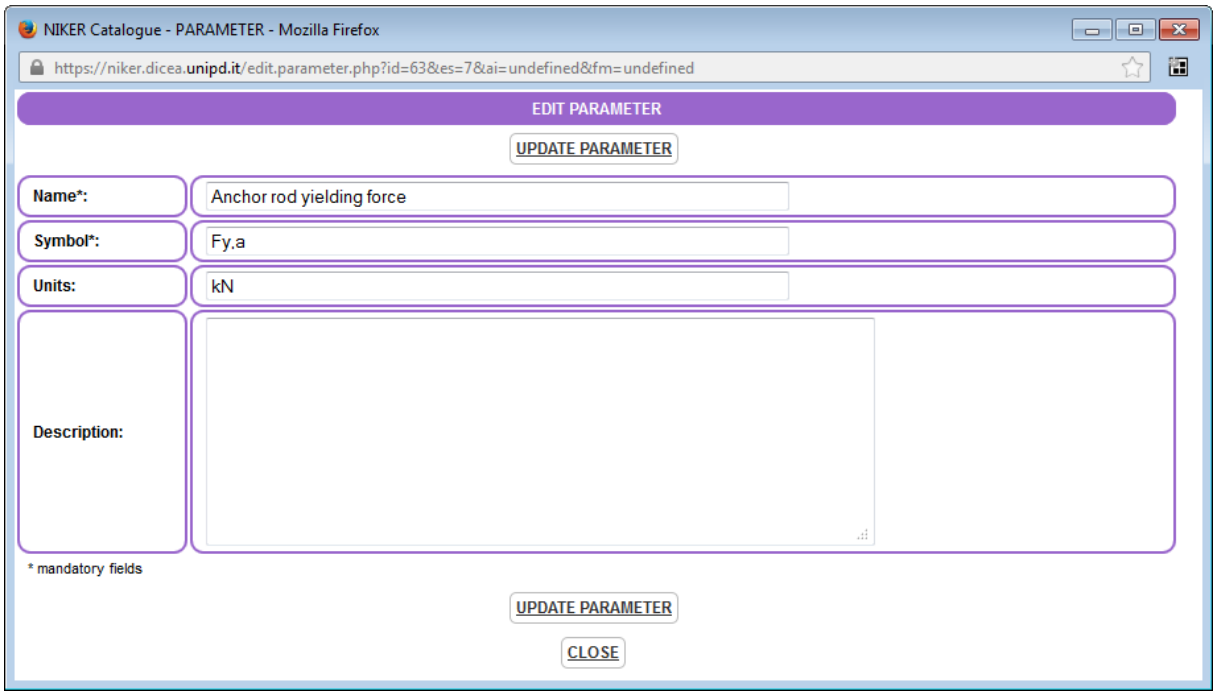


Figure 47: Pop-up window to edit a *Component*

To save the record click on the UPDATE COMPONENT button.

8.3.2.4 *Delete*

You are not allowed to delete a *Component* if it's already used somewhere within the system (Figure 48). If the *Component* can be deleted the system asks anyway to confirm the action.

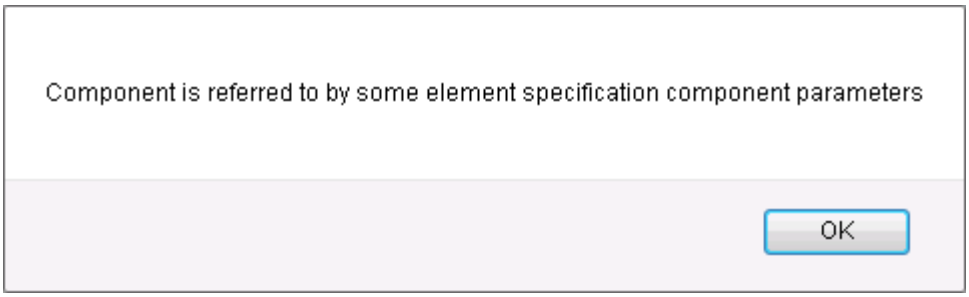


Figure 48: Error if not allowed to delete a *Component*

8.3.3 Connecting the pre-intervention parameters

To connect a *Pre-intervention parameter* to the selected *Typology* you need to specify the **Rank** (position within the list) and click on the icon/button.

A specific icon/button is then set for each assigned *Pre-intervention parameter*:

- SHOW
- EDIT
- DISCONNECT

PLOT RECAPITULATORY CHART

Please, refer to paragraph 8.3.1.1 and 8.3.1.3 for the details on SHOW and EDIT actions. If a user is not allowed to disconnect the *Pre-intervention parameter*, the system forbids the operation:

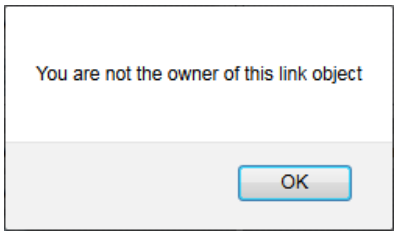


Figure 49: Error if not allowed to disconnect a *Pre-intervention parameter*

For each *Pre-intervention parameter* the range of inserted values is specified and The PLOT RECAPITULATORY CHART icon/button generates a chart with all the values (Figure 50).

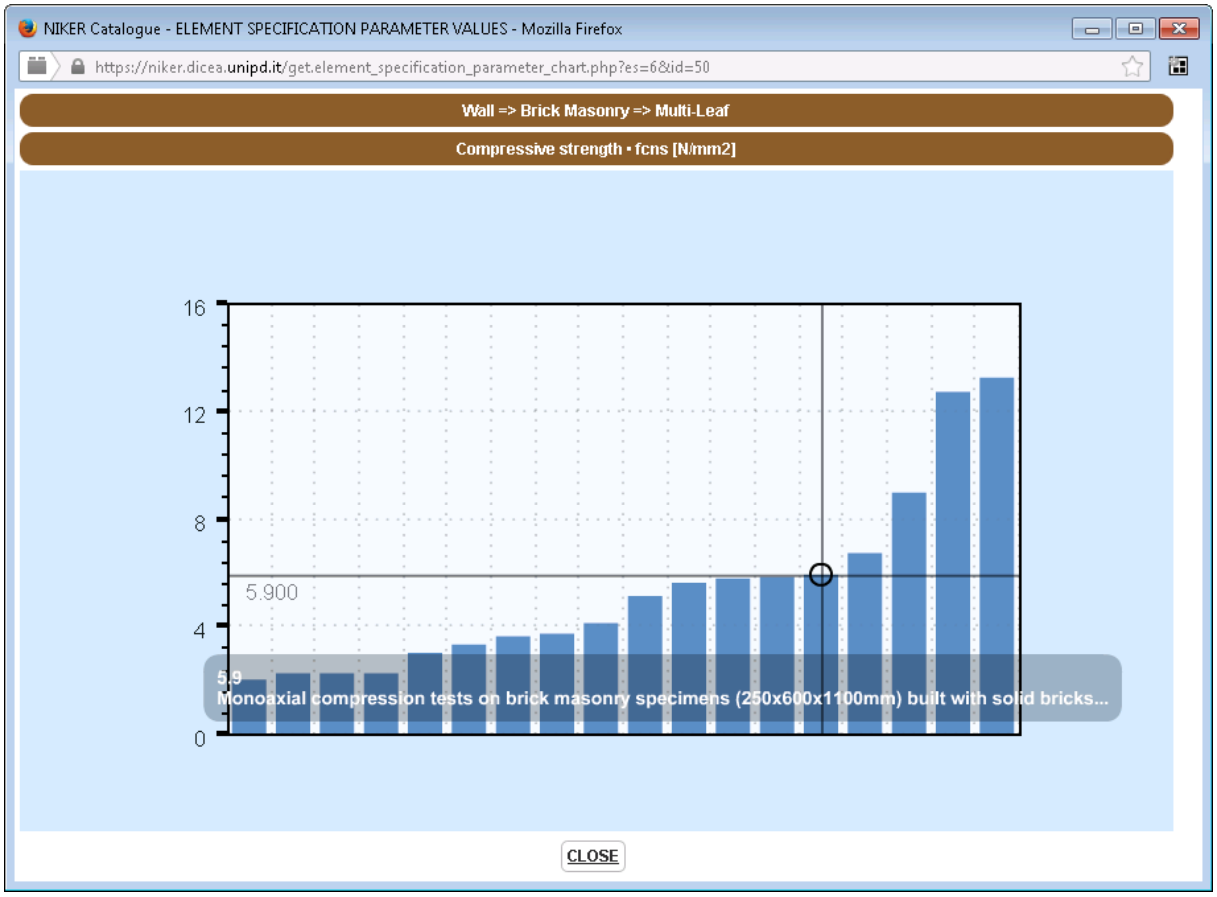


Figure 50: *Pre-intervention parameter* recapitulatory chart

8.3.3.1 *View, add and edit values*

If no value is defined, you can add values using the command **(add)**. A new pop-up window shows if such command is clicked (Figure 51).

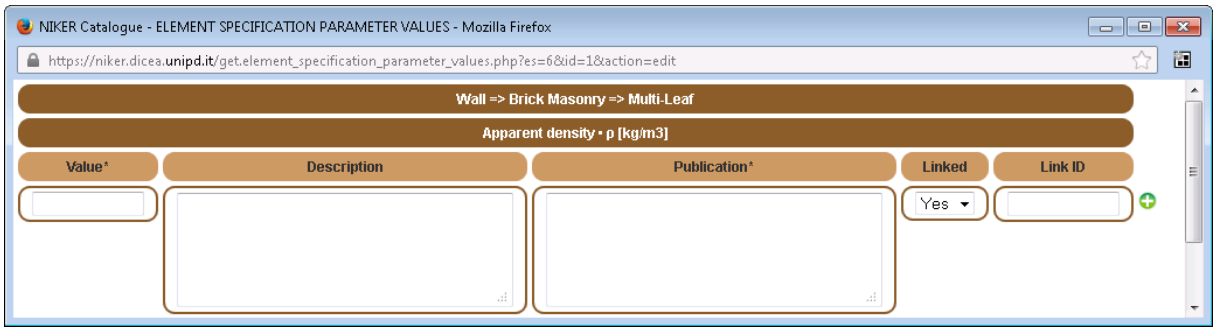


Figure 51: Pop-up window with the form to add a new value of a Pre-intervention parameter

Available fields are **Value**, **Description**, **Publication**, **Linked** and **Link ID**. The mandatory fields are **Value** and **Publication**.

Values must be numbers; both integer and real are accepted.

When you click on the **Publication** input field a pop-up window shows with the list of existing *Publications* to choose from (Figure 52). Select the *Publication* and click on the SELECT button to add it to the *Value*. Within the pop-up window you can perform all the operations on *Publications* described in chapter 0.

Link and **Link ID** fields are used by the dynamic chart generation procedure to link values one another.

Linkage among values can be done in two ways (see paragraph for more details).The first one is related to Publications: the system selects all Values with the same Publication ID as already explained in chapter 0. The second way is related to the **Link ID** field: the system select all *Values* with the same **Link ID** value. The latter is used to correlate *Values* coming from different *Publications* and contexts and is defined “manual connection”.

The **Linked** field says if the Value should be inserted or not in the charts and is used for both ways. This is important to exclude particular Values for any reasons.

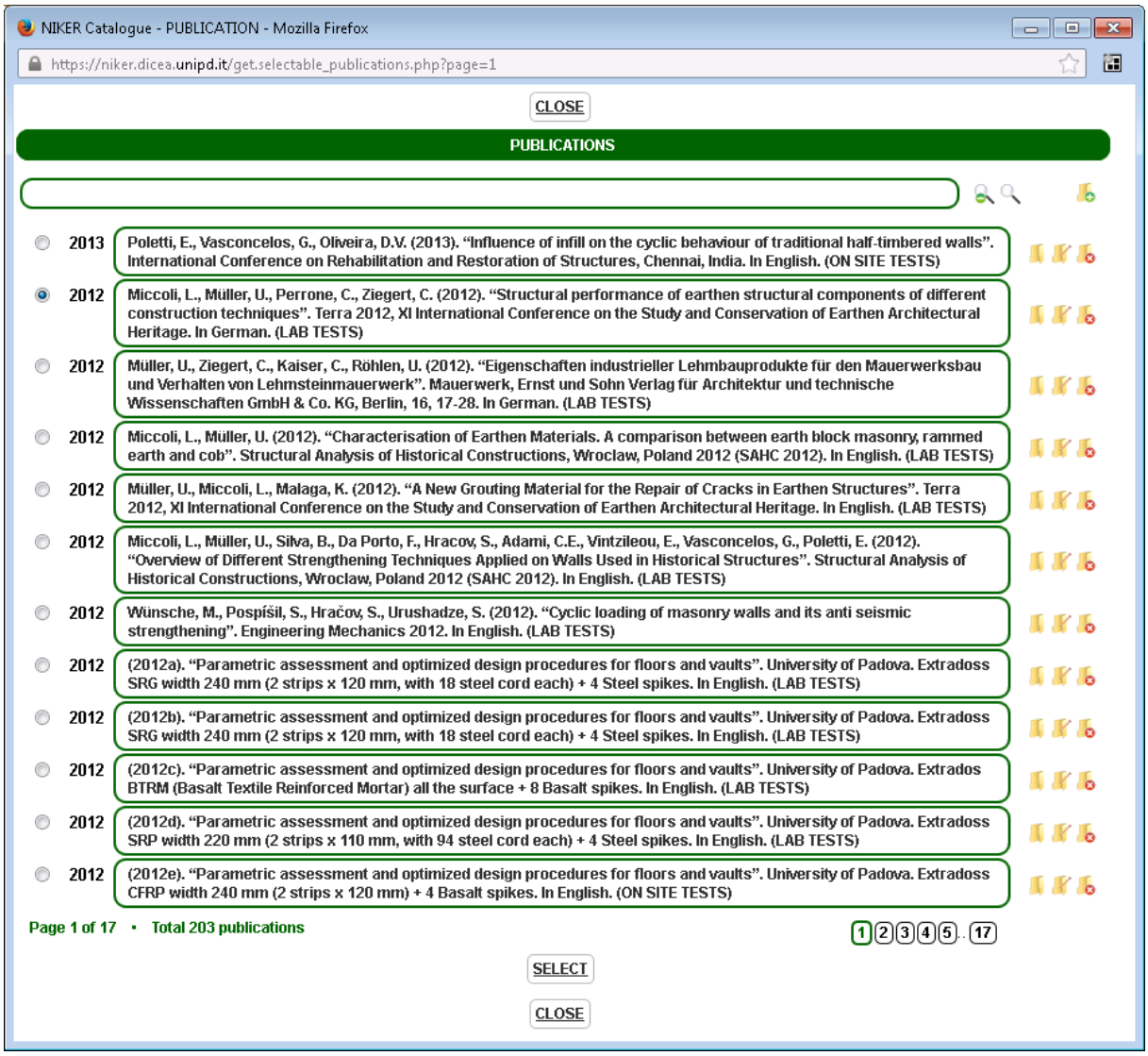


Figure 52: Pop-up window with the available *Publications*

To add the inserted value click on the icon/button. When at least one value is inserted the commands **(view)** and **(edit)** replace the command **(add)**. Command **(view)** shows the state-of-the-art of inserted data (Figure 53) and command **(edit)** can be used to modify existing values or add new ones (Figure 54).

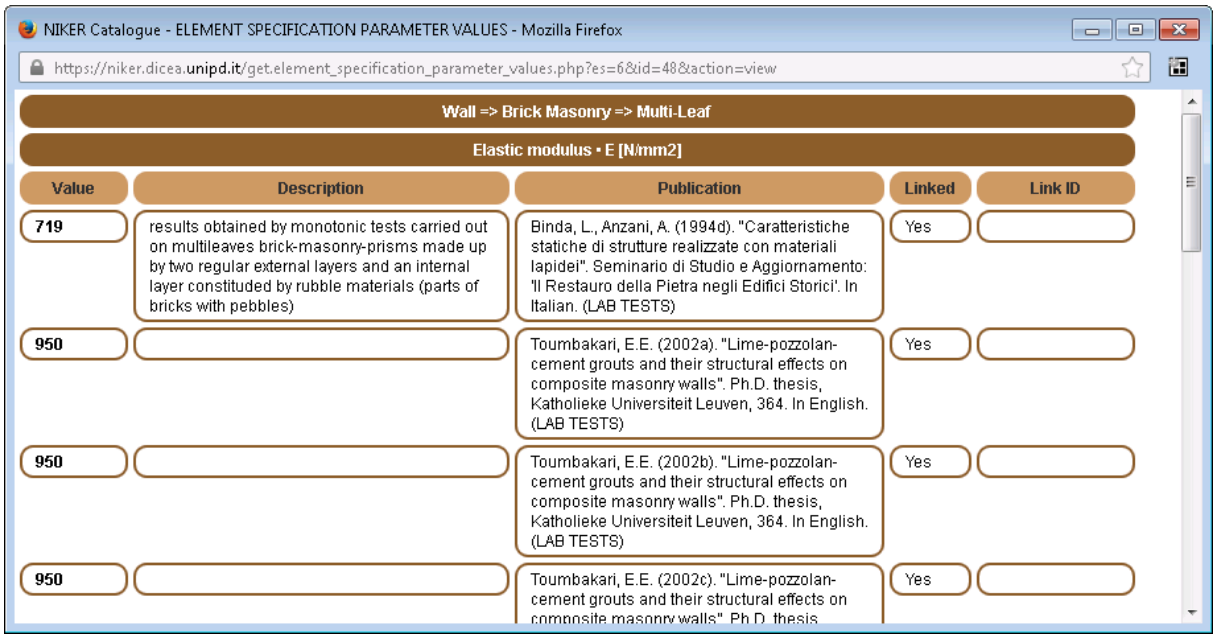


Figure 53: Pop-up window activated by the (view) command to show all values of a selected *Pre-intervention parameter*

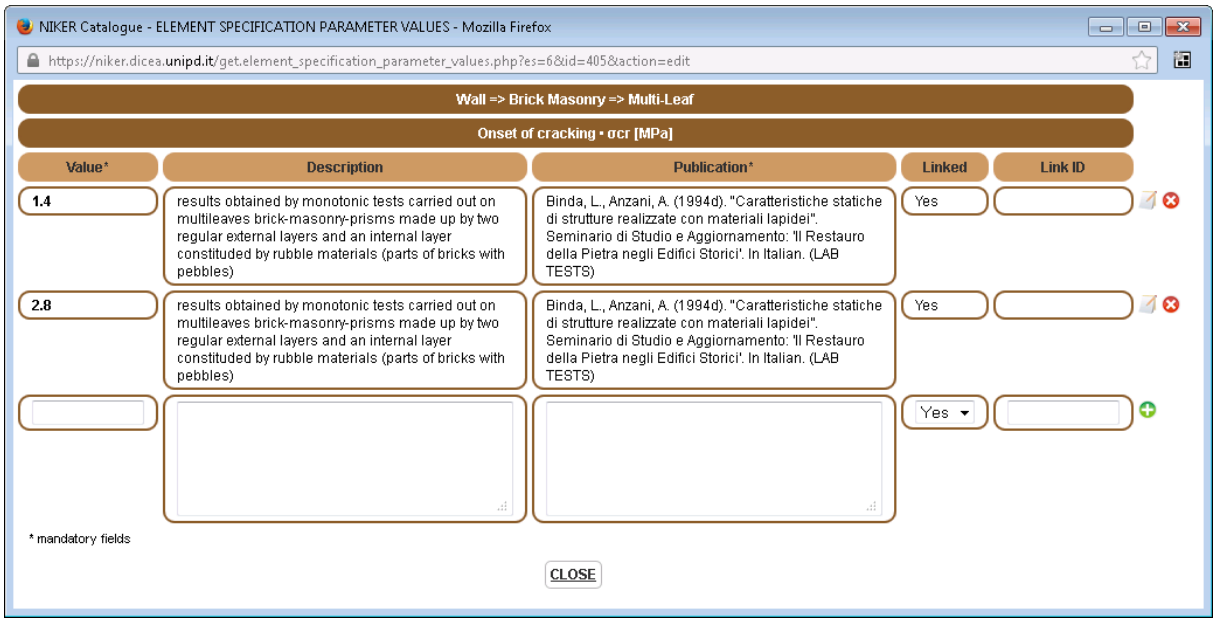


Figure 54: Pop-up window activated by the (edit) command to modify values of a selected *Pre-intervention parameter*

A specific icon/button is set for each action on *Values*:

- EDIT
- DELETE
- ADD

The DELETE action requires confirmation; the ADD is the same as described at the beginning of the paragraph.

The EDIT action copied the fields of the selected *Value* in the empty fields at the bottom of the window and modifies the icon/button into , which is used to accept the new *Value*.

These values should characterise the material in its pre-intervention state.

8.3.4 Connecting the component parameters

To connect a *Component parameter* to the selected *Typology* you need to specify the *Component*, the *Parameter*, the **Rank** (position within the list) and click on the icon/button.

A specific icon/button is then set for each assigned ***Component parameter***:

- SHOW
- EDIT
- DISCONNECT
- PLOT RECAPITULATORY CHART

Please, refer to paragraph 8.3.2.1 and 8.3.2.3 for the details on SHOW and EDIT actions. If a user is not allowed to disconnect the *Component parameter*, the system forbids the operation:

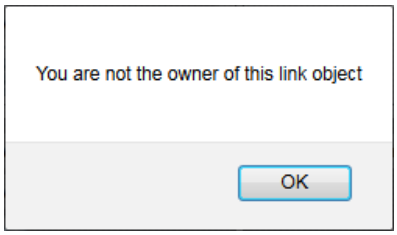


Figure 55: Error if not allowed to disconnect a *Component parameter*

For each *Component parameter* the range of inserted values is specified and The PLOT RECAPITULATORY CHART icon/button generates a chart with all the values similar to the one in Figure 50 for *Pre-intervention-parameters*.

The (add), (view) and (edit) commands for *Values* works exactly in the same way as the ones described in paragraph 8.3.3.1.

The values should characterise the components of the material in its pre-intervention state.

9 FAILURE MECHANISMS

A list of *Failure Mechanisms* can be specified for each *Construction Element* (Figure 56). *Failure Mechanisms* shows in the sub-area 2 (Figure 3).

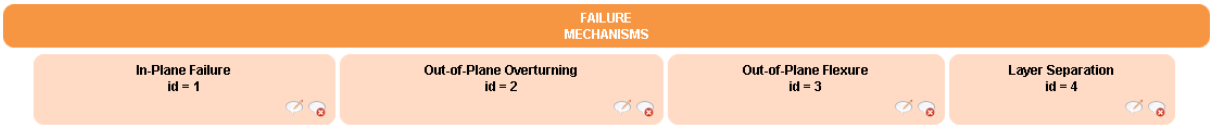


Figure 56: Failure Mechanisms connected to a *Construction Element*

A specific icon/button is set for each action on *Failure Mechanisms*:

- ADD
- EDIT
- DELETE

If you are not allowed to edit or delete an object the system forbids the operation with a message like in Figure 49.

9.1 *ADD*

The pop-up window with the form to add a new *Failure Mechanism* for *Construction Elements* is shown in Figure 57.

Available fields are: **Name**, **Picture**, **Description**, **Rank** and **Notes**. Mandatory fields are **Name** and **Picture**. Name must be unique within the same *Construction Element*.

The field **Rank** is used to set the position of the element in the list. In case the value of the field is the same for two elements the sorting will be done alphabetically by **Name**. All text fields can be formatted with a special on-line editor.

The Picture should represent the schematic of the mechanism.

To save the record click on the ADD FAILURE MECHANISM button.

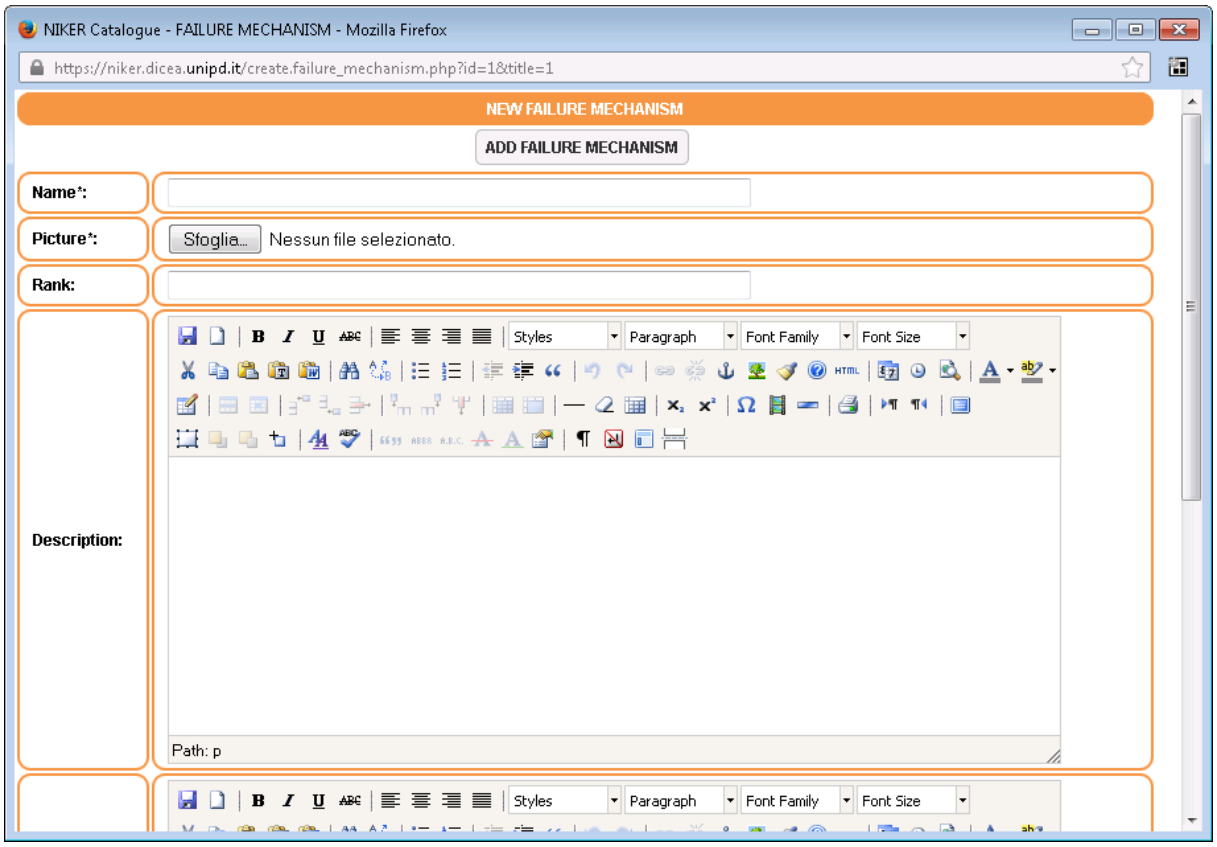


Figure 57: Pop-up window to add a new *Failure Mechanism* for *Construction Elements*

9.2 *EDIT*

The pop-up window with the form to update a *Failure Mechanism* is shown in Figure 58. Please refer to paragraph 8.2.1 for the description of the fields.

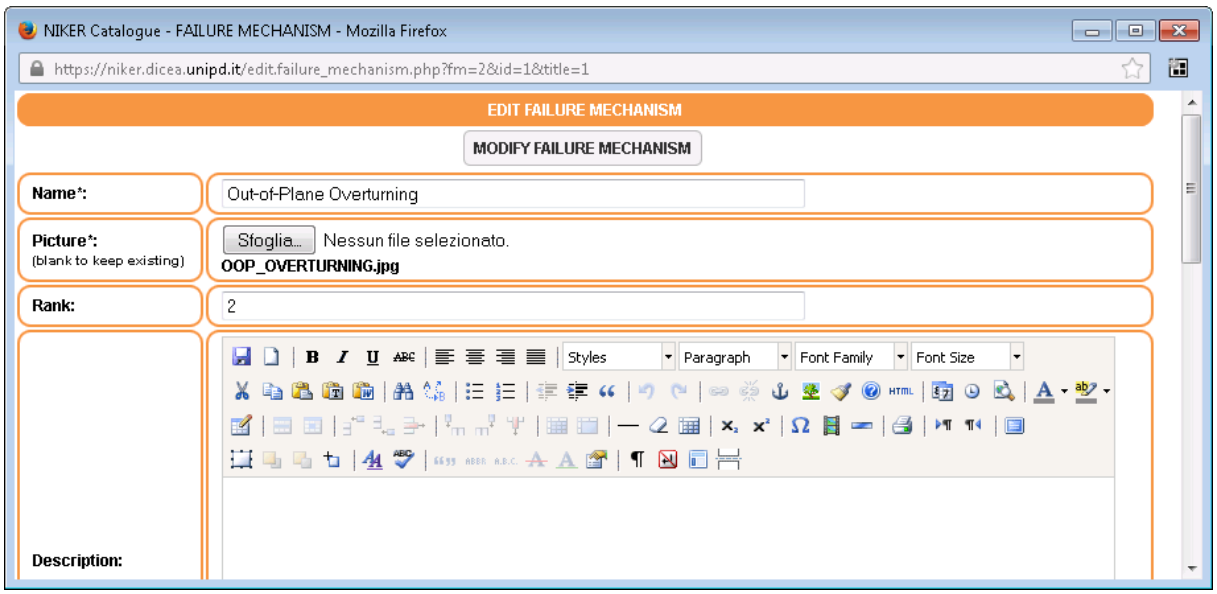


Figure 58: Pop-up window to edit a *Failure Mechanism* for *Construction Elements*

To save the record click on the MODIFY FAILURE MECHANISM button.

9.3 *DELETE*

IMPORTANT: Be careful that deleting a *Failure Mechanism* will delete also all its child *Intervention Cross-correlations* (not the *Interventions* themselves).

The delete action needs to be confirmed (Figure 59).

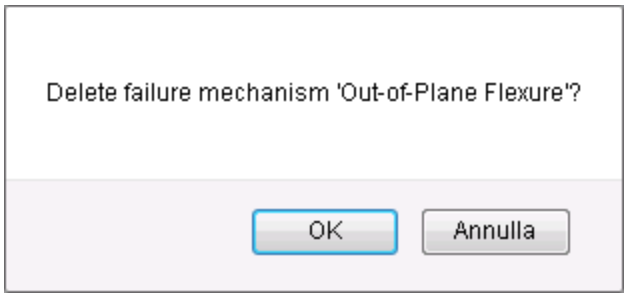


Figure 59: Confirm *Failure Mechanism* delete action

9.4 *FAILURE MECHANISM DETAILS*

Failure Mechanism Details are shown at the bottom of the page when *Failure Mechanism* is selected (Figure 60). **Failure scheme** is the image set in the **Picture** field of the *Failure Mechanism*.

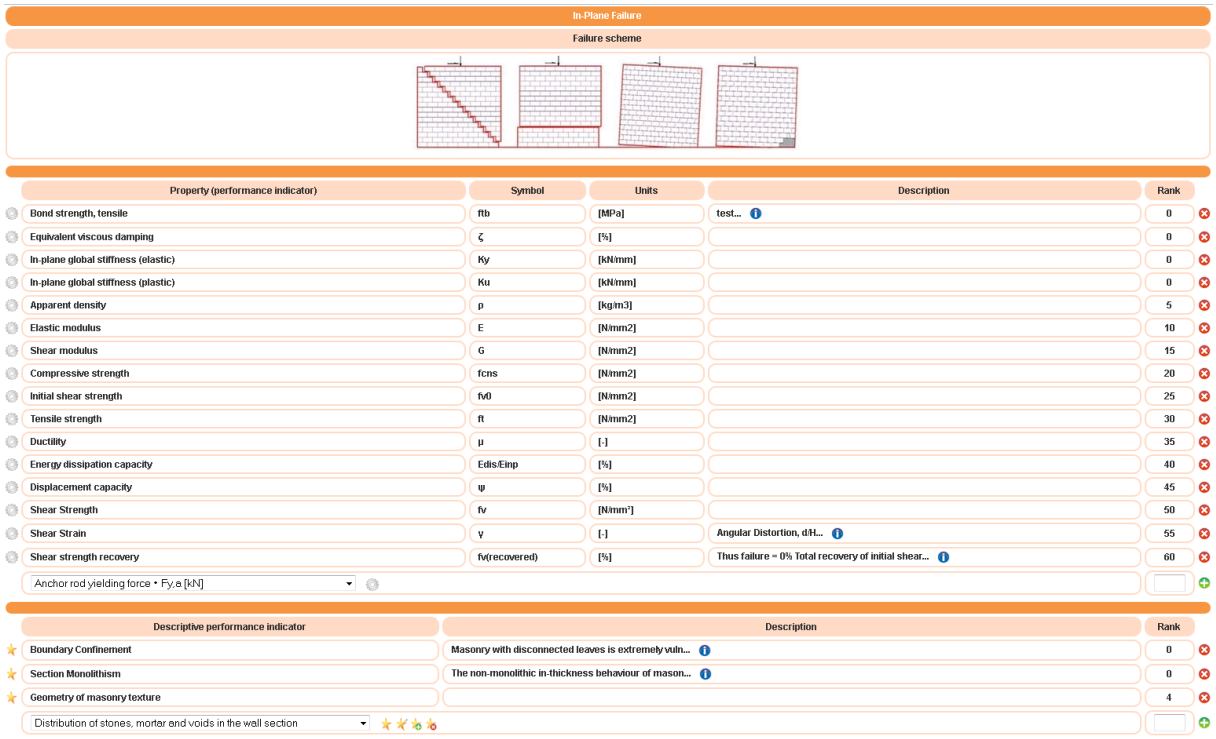


Figure 60: *Failure Mechanism* details

Properties (performance indicators), and *Descriptive performance indicators* can be linked to the *Failure Mechanism* in this area.

9.4.1 Properties (performance indicators)

These parameters (performance indicators) are the same as the already defined *Pre-intervention parameters* for materials and are used both to characterise the *Failure Mechanism* and to filter material parameters for a specific *Cross-Linked Intervention*.

The aim of this tool is to correlate a *Material Specification* to a *Failure Mechanism* to possibly identify the more appropriate *Interventions* on a particular *Construction Element*. Not all the parameters specified for a given material are involved in a particular failure mechanism. **The system will automatically cross-links material parameters and failure mechanism parameters (performance indicators) and assigns to the *Cross-Linked Intervention* only matching parameters.**

A specific icon/button is set for each action and the functionality is as described for *Pre-intervention parameters* in paragraph 8.3.3:

- SHOW
- CONNECT
- DISCONNECT

9.4.2 Descriptive performance indicators

Also *Descriptive performance indicators* can be connected to a specific *Failure Mechanism* in the same way as *Performance indicators*.

If a *Descriptive performance indicators* is not defined, it can be inserted using the icons/buttons described in Figure 61. Users should be careful to check for already existent *Descriptive performance indicators* to avoid duplications, which can compromise the effectiveness of future data analysis.

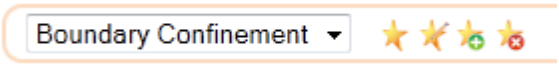


Figure 61: Management area for Descriptive performance indicators

Close to the drop-down, a specific icon/button is set for each action on the selected *Descriptive performance indicator:*

- SHOW
- EDIT
- ADD
- DELETE

If a user is not allowed to delete a property the system forbids the operation:

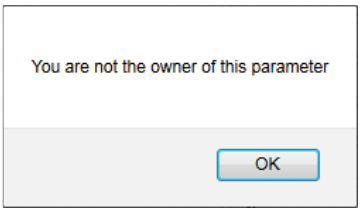


Figure 62: Error on Descriptive performance indicators due to the lack of permissions

Descriptive performance indicators of a *Failure Mechanism* will be automatically attached to all *Cross-Linked Interventions* connected to that specific *Failure Mechanism*.

9.4.2.1 *Show*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Descriptive performance indicator* (Figure 63).

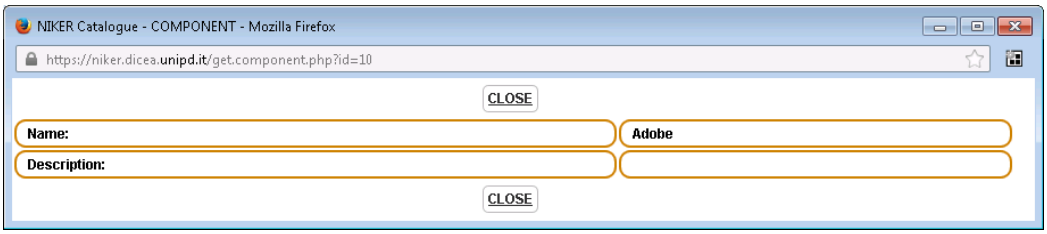


Figure 63: Pop-up window to show a *Descriptive performance indicator*

9.4.2.2 *Add*

The pop-up window with the form to add a new *Descriptive performance indicator* is shown in Figure 64.

Available fields are: **Name** and **Description**. The only mandatory field is **Name**, which also must be unique within the system.

No text fields can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE PERFORMANCE INDICATOR button.

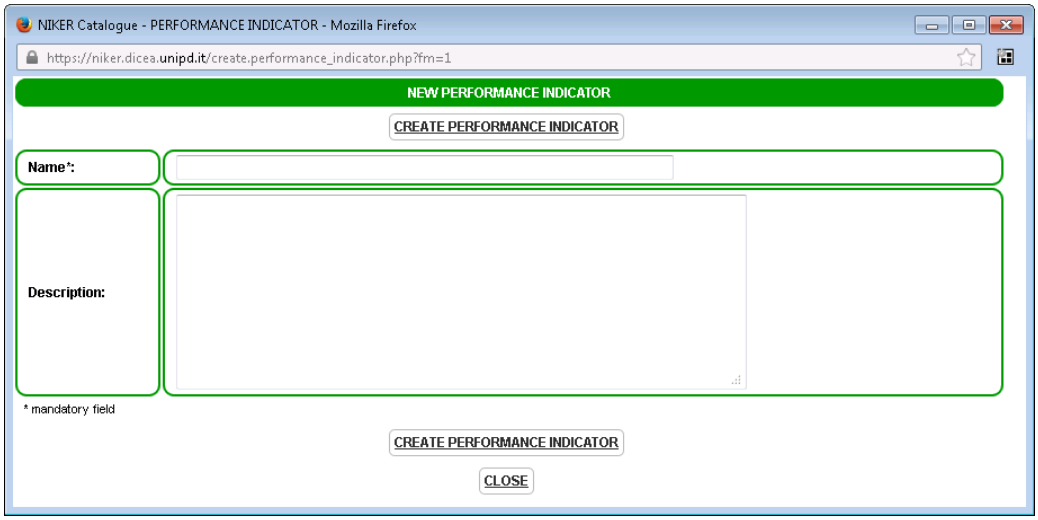


Figure 64: Pop-up window to add a new *Descriptive performance indicator*

9.4.2.3 *Edit*

The pop-up window with the form to update a *Descriptive performance indicator* is shown in Figure 65. Please refer to paragraph 9.4.2.2 for the description of the fields.

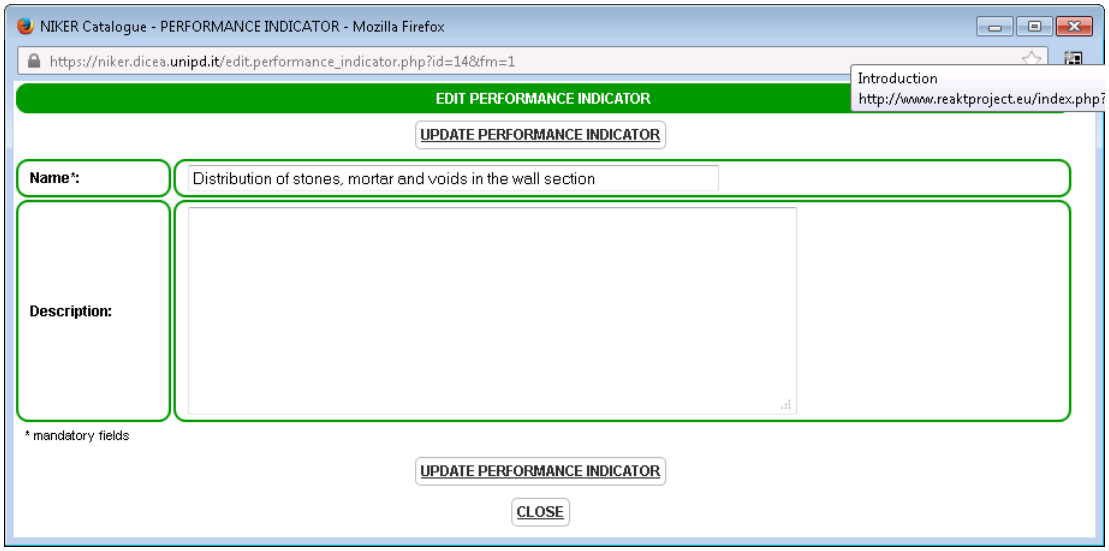


Figure 65: Pop-up window to edit a *Descriptive performance indicator*

To save the record click on the UPDATE PERFORMANCE INDICATOR button.

9.4.2.4 *Delete*

The system asks to confirm the action as shown in Figure 66.

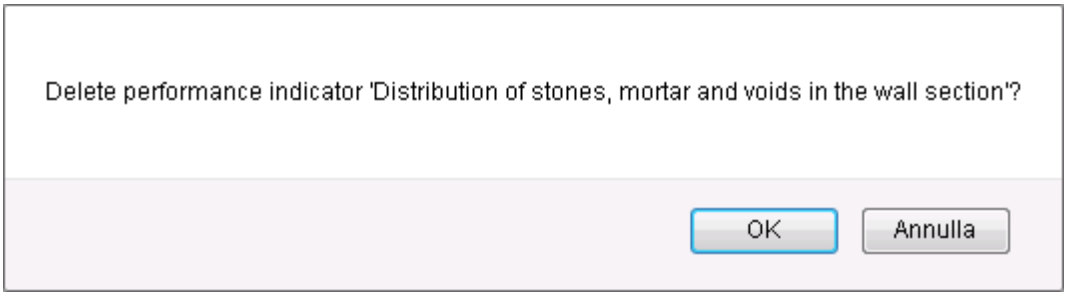


Figure 66: Confirm alert when deleting a *Descriptive performance indicator*

10 INTERVENTIONS

Interventions are independent from any other object and available to each combination of *Element Specification* with *Failure Mechanism*. Once created, they can be cross-linked to *Element Specifications* and *Failure Mechanisms.*

To manage *Interventions* please look at the “select intervention” drop-down menu on top of the page just beneath the *Failure Mechanism* list (sub-area 3 in Figure 4).

A specific icon/button is set for each operation:

- SHOW
- ADD
- EDIT
- DELETE
- GENERATE PDF
- GENERATE REPORT

If a user is not allowed to edit or delete an object the system forbids the operation (Figure 67).

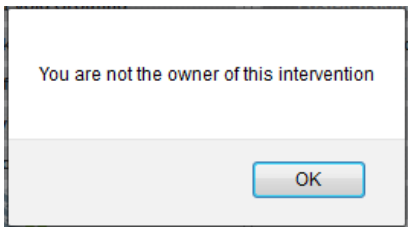


Figure 67: Permission error on *Interventions*

10.1 *SHOW*

The SHOW button opens another pop-up window reporting all the details of the *Component* (Figure 68).

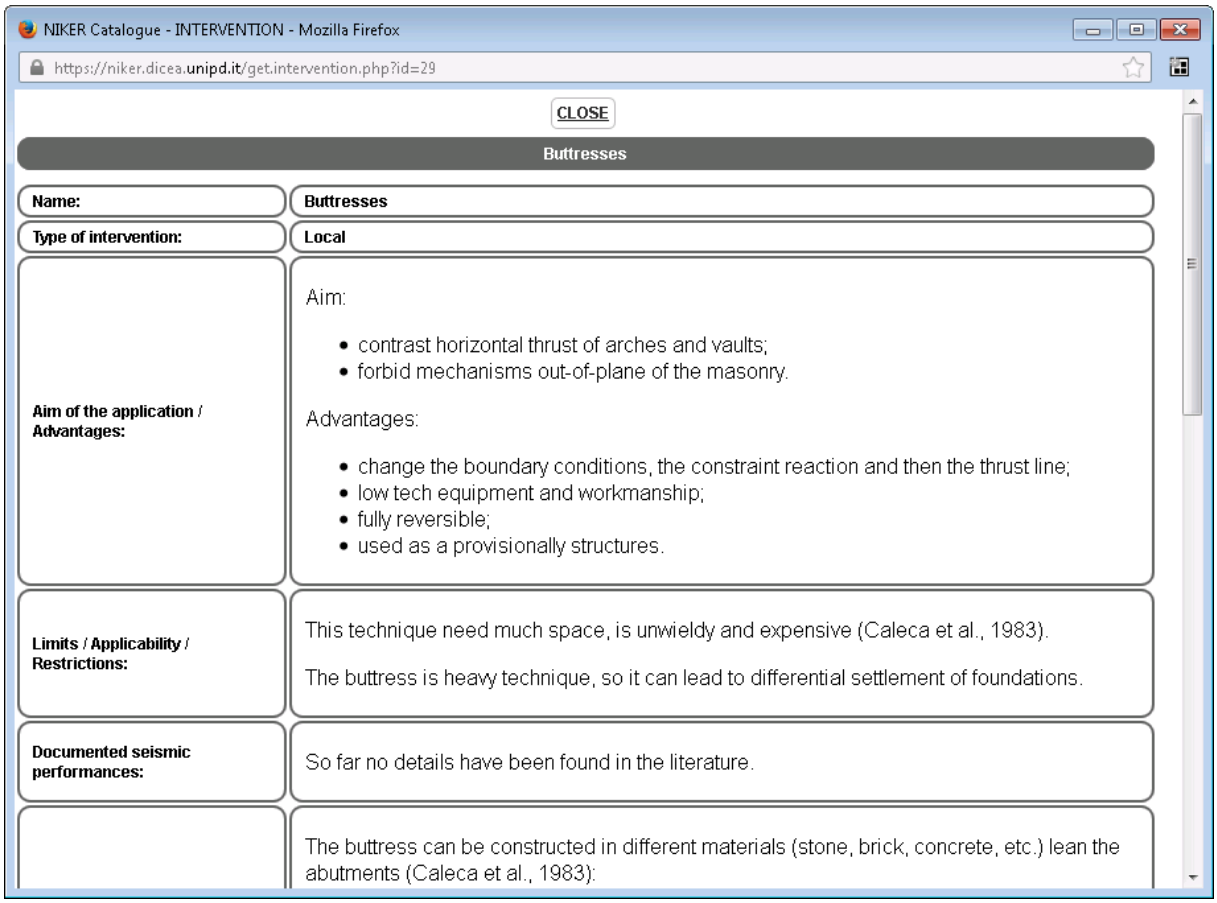


Figure 68: Pop-up window to show an *Intervention*

10.2 *ADD*

The pop-up window with the form to add a new *Intervention* is shown in Figure 69.

Available fields are: **Name**, **Type of intervention**, **Aim of the application / Advantages**, **Limits / Applicability / Restrictions**, **Documented seismic performances**, **Application procedures and remarks**, **Improved by the simultaneous use of**, **Possible mistakes in the application**, **Maintenance suggestions and periodic controls/monitoring**, **Long term performance / Durability**, **Standards and/or Recommendations**, **References and Notes**. The only mandatory field is **Name**, which also must be unique within the system.

All text fields can be formatted with a special on-line editor.

To save the record click on the CREATE INTERVENTION button.

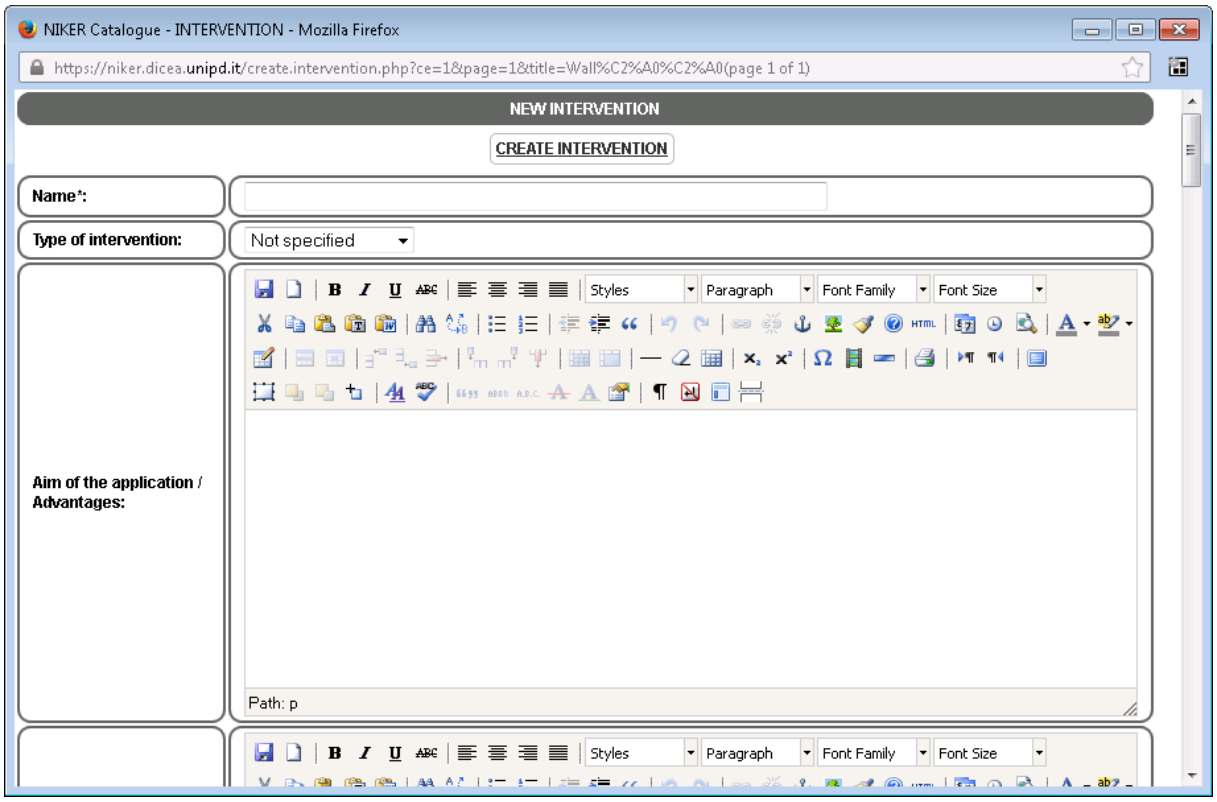


Figure 69: Pop-up window to add a new *Intervention*

10.3 *EDIT*

The pop-up window with the form to update an *Intervention* is shown in Figure 70. Please refer to paragraph 10.2 for the description of the fields.

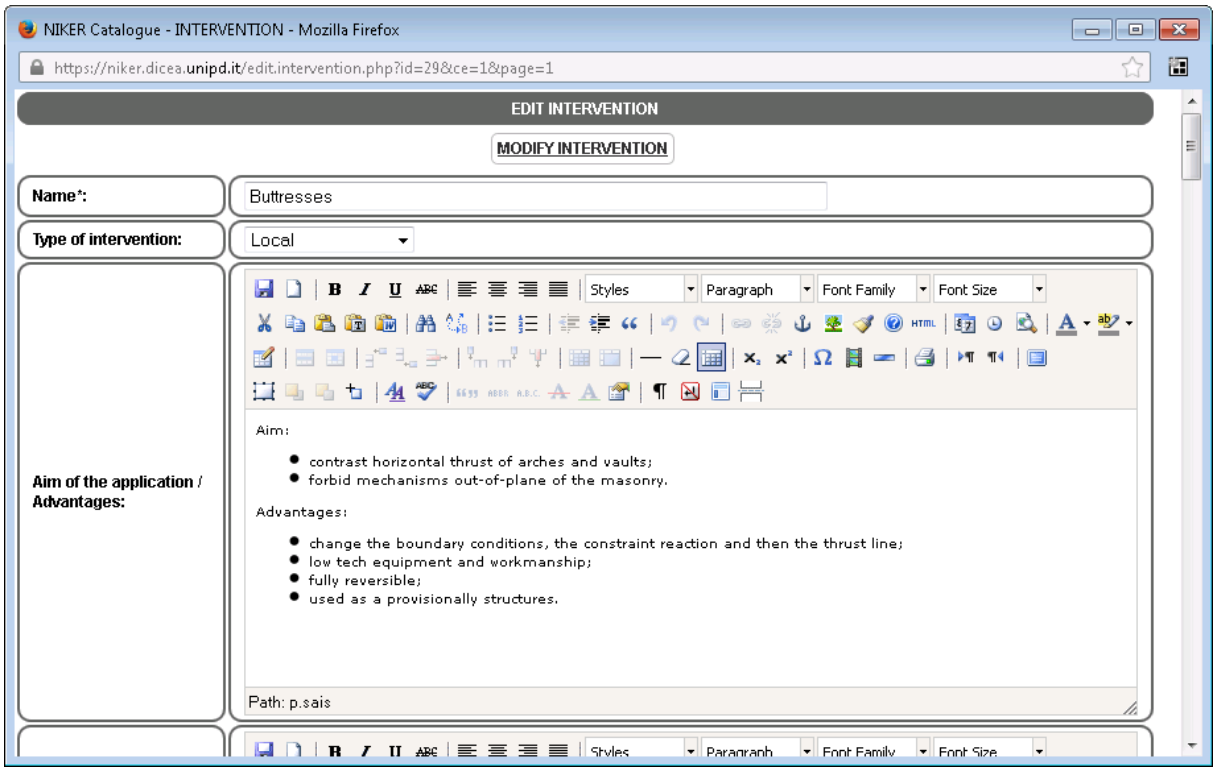


Figure 70: Pop-up window to edit an *Intervention*

To save the record click on the UPDATE INTERVENTION button.

10.4 *DELETE*

IMPORTANT: if you delete an *Intervention*, all connected *Intervention Cross-correlations* will be destroyed. The system ask to confirm the choice.

10.5 *GENERATE REPORT*

The *Intervention* report allows to check the all the cross-correlations with *Element Specifications* and *Failure Mechanisms*, as shown in Figure 71. A PDF can also be generated from within this pop-up window.

A general report for all *Interventions* can be generated using the GENERATE REPORT button in the screen area 2 (Figure 1).

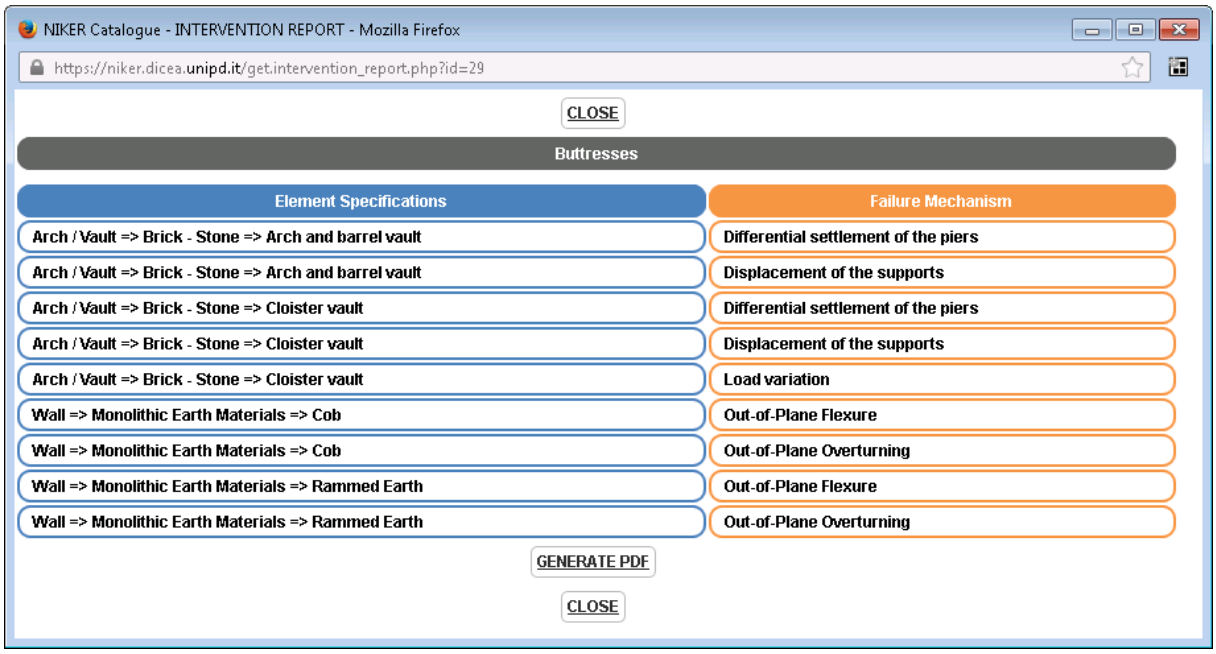


Figure 71: *Intervention* report

10.6 *INTERVENTION CROSS-CORRELATIONS*

When a specific *Intervention* is selected from the drop-down menu, it can be cross-correlated to the couple *Element Specification – Failure Mechanism*.

The sub-area 4 (Figure 3) is structured as a table (Figure 72) with rows representing *Element Specifications* and columns representing *Failure Mechanisms*. Each cell of the table (Figure 73) represents the cross-correlation between the two, and to that cell can be associated one or more *Interventions*.

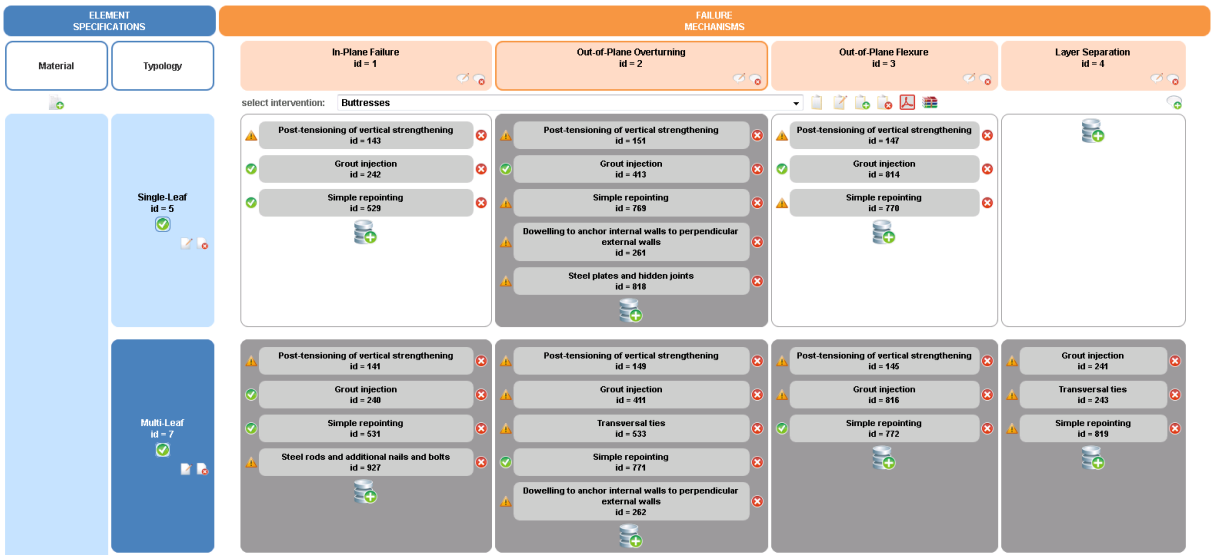


Figure 72: Cross-correlations table among *Element Specification*, *Failure Mechanism* and *Interventions*

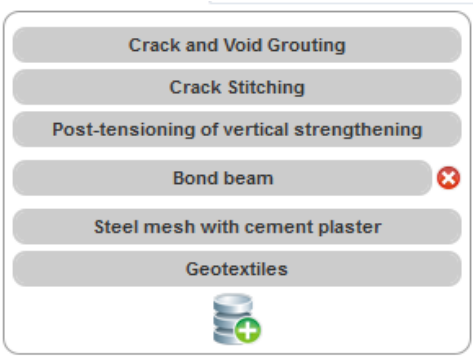


Figure 73: Cross-correlation cell

A specific icon/button is set for each operation:

- ADD TO CORRELATION
- REMOVE FROM CORRELATION

The REMOVE FROM CORRELATION icon/button appears only if you are authorised to perform the action.

Cross-Link Interventions can be highlighted selecting either an *Element Specification* or a *Failure Mechanism* or both. This to help users to stress out a specific group of required *Interventions*.

10.6.1 Cross-correlated Intervention Properties

Cross-correlated Intervention Properties will appear underneath the selected *Cross-correlated Intervention* object.

Parameters coming from *Element Specification* matching the properties (performance indicators) of the correlated *Failure Mechanism* represent what is expected to characterise the post-intervention element/material and are displayed first.

Descriptive performance indicators peculiar to the considered *Failure Mechanism* follow. Underneath the *Descriptive performance indicators*, *Reinforcement parameters* introduced by the interventions are listed and, at the bottom, the *Effects of intervention on damage mechanism* are reported (Figure 74).

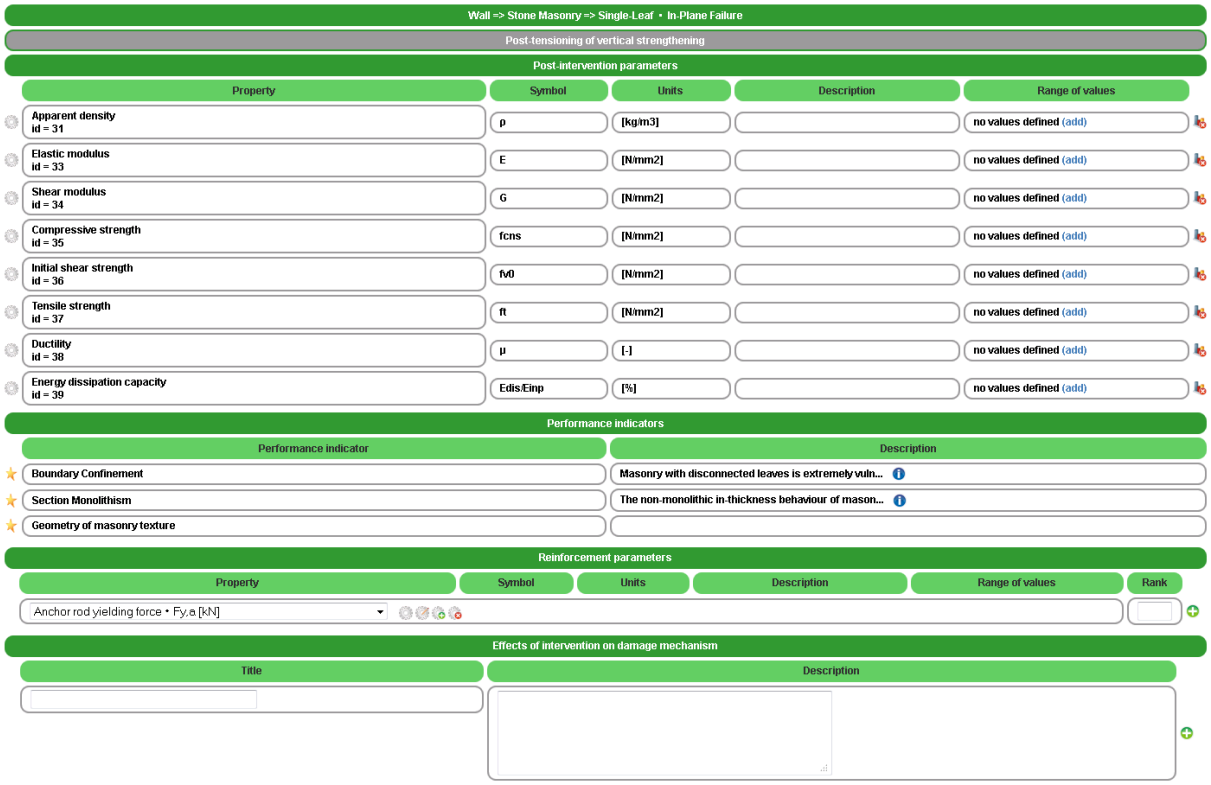


Figure 74: *Cross-correlated Intervention Properties* area

A specific icon/button is set for each operation:

- SHOW POST-INTERVENTION PARAMETERS
- SHOW DESCRIPTIVE PERFORMANCE INDICATORS
- PLOT RECAPITULATORY CHART

The “Range of values” column shows the range of values inserted for each *Post-intervention parameter* and for each *Reinforcement parameter*. The management of Values for both is the same as described in paragraph 8.3.3.1.

These values should characterise the post-intervention element/material and the reinforcement materials added with the intervention.

11 DYNAMIC CHARTS

Dynamic charts can be generated using the DYNAMIC CHART button in the screen area 2 (Figure 1). Screen area 5 is used to select parameters to generate the chart (Figure 75).

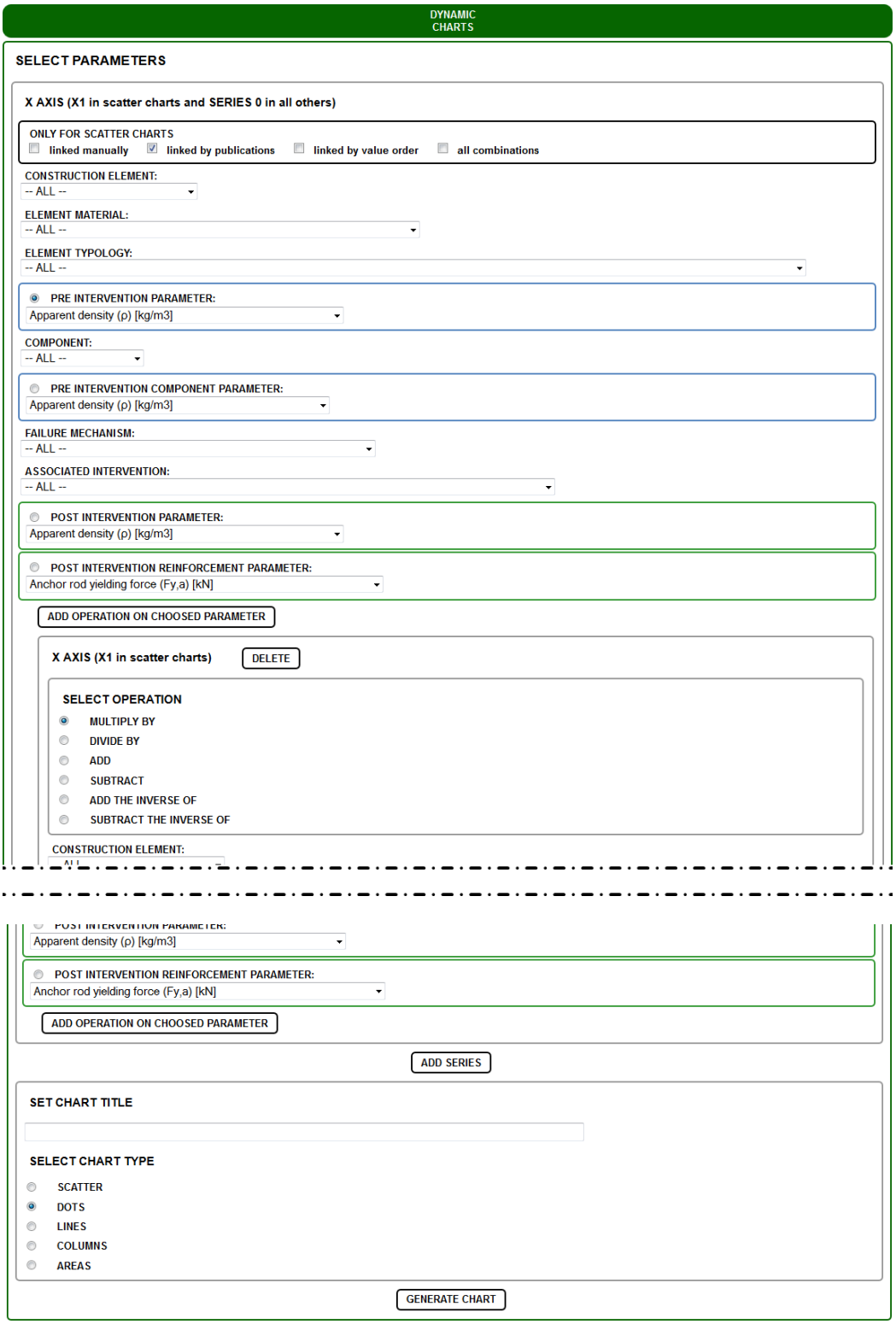


Figure 75: Parameter selection for dynamic charts

You can set a title and choose the appropriate chart type. Available chart types are:

- Scatter
- Dots
- Lines
- Columns
- Areas

In all charts except scatter, series are plotted against a fix-step x-axis. In this case you need at least 2 series (number 0 and 1). More series can be added clicking the ADD SERIES button and, starting from series 3, can be deleted with the DELETE button.

The scatter chart is the only one available to correlate two different parameters. In this case you need couples of series, which are plotted against the x and he y axes. If you add an odd number of series the spare one will be not considered in the chart generation.

Each series can contain also a combination of parameters. To add operations click on the ADD OPERATION ON CHOOSED PARAMETER button. The following operations are defined for parameter combination:

- $X \cdot Y$
- X / Y
- $X + Y$
- $X - Y$
- $X + 1/Y$
- $X – 1/Y$

where Y is the added operational parameter.

The system allows to plot combinations of any parameters in the catalogue. Of course not all the combinations of parameters have reasonable physical sense, so it's required an expert user to deal with this function.

Moreover, not all values of each parameter should be gathered in a chart (i.e. they come from different experiments or test conditions). in scatter plots sub-group of values can be linked together in different ways: manually, by *Publications*, by value order or with a combination of all available values.

The manual link is done with the **Link ID** field of *Values* as described in paragraph 8.3.3.1. The link by *Publication* considers all *Values* with the same *Publication*.

The link "by value order" creates an array for each parameter sorted by value and links values taken from the arrays from the lower up. In this case the number of sub-groups of values is equal to the number of elements in the shortest array. All the exceeding values are discarded.

The last way of linking parameters is a combination of all the values inserted for a given parameter.