

**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

TESI DI DOTTORATO

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Beni Culturali: Archeologia, Storia dell'Arte, del Cinema e della Musica

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN: Storia Critica e Conservazione dei Beni Culturali

CURRICULUM: Archeologico-scientifico

CICLO: XXXII

**PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA COSTRUTTIVO MULTIFUNZIONALE DI
COPERTURA PER LA PROTEZIONE E LA VALORIZZAZIONE DI SITI
ARCHEOLOGICI.
STUDIO METODOLOGICO PER LA RISPOSTA INTEGRATA A ESIGENZE
COMPLESSE**

Coordinatore: Ch.ma Prof.ssa Federica Toniolo

Supervisore: Ch.ma prof.ssa Maria Rosa Valluzzi

Co-supervisori: Ch.mi Proff. Jacopo Bonetto, Umberto Turrini

Dottorando: Luca Sbrogiò

Indice

Abstract	xxvii
Introduzione	xxix
I Valorizzazione dei siti archeologici. Dalla conoscenza ai criteri di progetto	1
1 Il sito archeologico. Dalla definizione del valore alla valorizzazione	3
1.1 Gli oggetti della ricerca	4
1.1.1 Rudere	4
1.1.2 Tipologie di siti e ritrovamenti archeologici	5
1.2 Gli strumenti e gli esiti	8
1.2.1 Scavo archeologico	8
1.2.2 Sito archeologico	10
1.2.3 Parco archeologico	13
1.3 La moderna nozione di bene culturale	14
1.3.1 La conquista del valore	15
1.4 Dalle "cose di interesse artistico" al "bene culturale"	16
1.4.1 Una impossibile definizione	16
1.4.2 Tendenze recenti	18
1.5 Una questione di valori	20
1.5.1 La ricerca	21
1.5.2 Il conflitto	22
1.6 Osservazioni conclusive	25
2 Il rischio e i siti archeologici	27
2.1 Il rischio	27
2.2 Pericolosità	28
2.2.1 Fattori ambientali	30
2.2.2 Fattori antropici	35
2.3 Vulnerabilità	42

2.3.1	Vulnerabilità sismica del costruito archeologico	44
2.4	Esposizione	45
2.5	Gli effetti: degrado e dissesto	48
2.6	Osservazioni finali	53
3	Gli interventi sul sito: dallo scavo alla musealizzazione	55
3.1	L'intervento sul sito archeologico	55
3.1.1	Obiettivi	59
3.2	I metodi e le tecniche	65
3.2.1	Documentazione e diagnosi	66
3.2.2	Ricostruzione virtuale	66
3.2.3	Conservazione in sito	68
3.2.4	Prevenzione	69
3.2.5	Manutenzione	70
3.2.6	Conservazione (materiale)	70
3.2.7	Restauro	71
3.2.8	Musealizzazione	72
3.3	Osservazioni finali	75
4	Le coperture archeologiche. Ricadute ed effetti di un problema di restauro	77
4.1	Inquadramento storico-concettuale	77
4.2	Esempi europei	81
4.2.1	Italia	81
4.2.2	Ricostruzione post-sisma	90
4.2.3	Grecia e Vicino Oriente	93
4.2.4	Spagna e Portogallo	97
4.2.5	Austria e Germania	98
4.2.6	Francia	101
4.2.7	Belgio e Lussemburgo	104
4.2.8	Gran Bretagna	105
4.3	Le coperture: tipi e prassi operativa	107
4.3.1	Classificazione dell'intervento	107
4.3.2	Soluzioni architettoniche per le coperture archeologiche	116
4.4	Valutazione dell'efficacia	121
4.4.1	Procedure esistenti	122
4.4.2	La ricerca di una scheda di valutazione	125
4.5	Osservazioni finali	128
5	Proposta di linee guida per il progetto	129
5.1	L'approccio esigenziale-prestazionale al sito archeologico	130
5.1.1	L'utenza	132

5.1.2	Le esigenze	132
5.1.3	I requisiti	138
5.2	Problemi specifici	146
5.2.1	Possibilità di impiego di sistemi prefabbricati	146
5.2.2	Gestione climatica	151
5.3	Proposta di linee guida	154
5.3.1	Prescrizioni generali	155
5.3.2	Note esplicative	158
5.3.3	Gli elementi di progetto	162
5.4	Osservazioni finali	163
6	Sistemi e materiali per strutture modulari e componibili. Valutazione dell'applicabilità in ambito archeologico	165
6.1	Fondazioni	165
6.1.1	Fondazioni superficiali e in appoggio	165
6.1.2	Fondazioni continue e cordoli di base	172
6.2	Strutture verticali	173
6.3	Strutture orizzontali	176
6.3.1	Strutture reticolari spaziali	177
6.4	Chiusure perimetrali	183
6.5	Alcune esperienze recenti	184
6.6	Materiali compositi polimerici	187
6.6.1	Componenti	190
6.6.2	Processi produttivi	195
6.6.3	Prodotti in fibra di vetro	197
6.7	Comportamento meccanico e risposta strutturale	199
6.8	Progettazione	200
6.8.1	Criteri generali	200
6.8.2	Coefficienti di sicurezza	202
6.8.3	Sismica	202
6.8.4	Profilati ed elementi lineari	203
6.8.5	Unioni	204
6.9	Osservazioni conclusive	207
II	Sviluppo e applicazione di un sistema costruttivo multifunzionale	209
7	La scelta di un ambito di studio. L'edilizia domestica romana: caratteri sociali e impianto planimetrico	211
7.1	Il problema archeologico	211
7.2	I significati dell'abitare	212

7.2.1	Le fonti letterarie	213
7.2.2	Vitruvio e le fonti	214
7.3	La <i>domus</i> aristocratica in Italia	218
7.3.1	I dati archeologici	218
7.3.2	Gli ambienti della <i>domus</i>	225
7.4	Altre forme dell'abitare	233
7.4.1	I dati archeologici	234
7.4.2	L'edilizia media	238
7.4.3	Le <i>insulae</i>	239
7.5	Osservazioni finali	241
8	Integrabilità architettonica. Applicabilità delle tecniche tipologiche di interpretazione e progettazione alla casa romana	243
8.1	Gli strumenti a disposizione	244
8.1.1	Il sistema metrologico romano	244
8.1.2	La composizione dell'architettura classica	246
8.1.3	Il tipo: la casa romana come casa a corte	250
8.2	Esempio applicativo. Le città archeologiche di Pompei ed Ercolano	253
8.2.1	Premessa: legittimità di applicazione del metodo	253
8.2.2	Impianto urbano e "lottizzazione" a Pompei e Ercolano	256
8.2.3	Mappatura tipologica	263
8.3	Analisi	272
8.4	Osservazioni finali	281
9	Integrabilità strutturale. Applicabilità dei metodi speditivi di valutazione della vulnerabilità sismica al costruito archeologico	291
9.1	Metodi di valutazione della vulnerabilità	291
9.2	Metodo del dominio di rottura	293
9.3	Compilazione della scheda GNDT di una casa minima	294
9.3.1	Tipo e organizzazione del sistema resistente (1)	295
9.3.2	Qualità del sistema resistente (2)	297
9.4	Implementazione in <i>Vulnus</i>	305
9.5	Osservazioni finali	308
10	Strumenti per la preprogettazione di sistemi a configurazione variabile. Modellazione parametrica	311
10.1	La modellazione parametrica e gli algoritmi genetici	311
10.2	Software per la programmazione parametrica	319
10.2.1	Rhinoceros	319
10.2.2	Grasshopper	320
10.2.3	Karamba	321

10.2.4	Octopus e Galapagos	321
10.3	Riproposizione analitica di alcuni tipi di case pompeiane	322
10.4	Preprogettazione della copertura	324
10.4.1	Componenti parametrici del progetto	324
10.4.2	Analisi agli elementi finiti e ottimizzazione	330
10.4.3	Analisi strutturale	335
10.5	Osservazioni finali	338
11	La progettazione del sistema. Integrazione di soluzioni esistenti	339
11.1	Il <i>concept</i>	339
11.2	Soluzioni di progetto	343
11.2.1	Sistema di drenaggio	343
11.2.2	Fondazioni in appoggio superficiale	344
11.2.3	Fondazioni profonde	345
11.2.4	Cordoli in muratura	345
11.2.5	Collegamento tra fondazione e struttura verticale	347
11.3	Sistemi strutturali	348
11.3.1	Sistema tipo <i>stick-built</i>	348
11.3.2	Sistema ad aste composte	350
11.3.3	Sistema a incastro	351
11.4	Chiusure perimetrali esterne/interne	351
11.5	Osservazioni finali	353
12	Applicazione del sistema. La ricostruzione delle <i>domus</i> nel complesso delle Terme del Sarno	357
12.1	Il complesso delle Terme del Sarno: storia degli studi e acquisizioni recenti	358
12.1.1	Lo scavo e il restauro	358
12.1.2	Il nuovo piano di indagine	361
12.2	La <i>domus</i> ai civici 18, 20, 21	362
12.2.1	Descrizione degli spazi	362
12.2.2	Riconoscimento dei tracciati regolatori	364
12.2.3	Livelli superiori e coperture	366
12.3	Il progetto di ricostruzione	370
12.3.1	L'atrio al civico 18	370
12.3.2	La casa a peristilio	373
12.4	Osservazioni finali	376
	Conclusioni	377
	Bibliografia	381

Elenco delle figure

1.1	Il processo di formazione del rudere (da Carandini 2010)	5
1.2	Collocazione dei siti costieri (da Zezza 2010)	6
1.3	Schema delle possibili configurazioni planimetriche e altrimetriche del sito: a) puntuale compatto; b) puntuale diffuso; c) esteso diffuso; d) esteso com- patto; e) lineare; f) a raso; g) in elevazione; h) misto; i) di scavo/stratigrafia; l) ipogeo (da Di Muzio 2010b)	7
1.4	Schema delle direzioni di scavo (da Pedeli e Pulga 2002)	9
1.5	Grafico della legge di sopravvivenza delle informazioni archeologiche. I resti interpretati sono sempre minori dell'evidenza globale del sito (da Francovich e Manacorda 1990)	10
1.6	Schema degli interventi sui beni archeologici (da Lanzarone 2004)	11
1.7	Parchi archeologici con ricostruzioni a scala reale: a) Colonia Ulpia Traiana a Xanten (D); b) forte romano a South Shield (GB) (da Amendolea 1988) .	15
1.8	La situazione ideale delle politiche di conservazione, in cui tutte le fasi sono integrate, connesse e coerenti (da Avrami et al. 2010)	21
1.9	Attività, interazioni e tensioni determinate dalla definizione dei valori nella creazione del patrimonio culturale (da Avrami et al. 2010)	24
1.10	I filtri con cui guardare il rudere archeologico. Un archeologo cerca di determinare le fasi costruttive e le fonti di approvvigionamento dei mate- riali; un architetto o un ingegnere si concentrano sulla stabilità strutturale; un conservatore cerca di stabilire lo stato di degrado; un ecologo cerca di identificare la flora e la fauna. Ciascuno richiede perspicaci capacità di osservazione e deduzione, tuttavia è possibile, con una formazione adegua- ta, che un esperto possa imparare a vedere attraverso le lenti di un'altra competenza, almeno a livello base (da Michaelides e Guimier-Sorbets 2017)	26
2.1	Il trauma dello scavo sui materiali archeologici (da <i>Conservación in situ</i> 1996)	28
2.2	Collocazione di un campione di circa 500 siti archeologici italiani rispetto alle classi di azioni della normativa tecnica italiana (NTC 2018) per; a) zona vento; b) zona neve; c) zona sismica	29
2.3	Schematizzazione grafica dei problemi del sito archeologico conservato <i>in situ</i> (da Amendolea 1988)	30

2.4	Condizioni di pericolo veicolate dall'acqua-1: a) accumulo dell'acqua piovana sul sito (area archeologica a Voghiera, FE); b) risalita dell'acqua di falda (area archeologica a Valmontone, RM)	31
2.5	Condizioni di pericolo veicolate dall'acqua-2: a) stillicidio proveniente dalla condensa struttura metallica e dalla non perfetta tenuta dei pluviali (area archeologica a Cottanello, RI); b) pluviale disperdente in superficie (Pompei)	32
2.6	Condizioni di pericolo create dalla luce solare nell'interazione con la copertura: a) zone d'ombra alternate a zone di sole diretto (area archeologica a Pesaro); b) illuminazione diffusa con la trama della struttura della copertura (area archeologica di Sarsina, FC)	33
2.7	Condizioni di pericolo non mitigate dalla copertura: a) effetto serra indotto dalla copertura vetrata (area archeologica a Cividate Camuno, BG); b) assenza di protezione laterale (area archeologica di Atripalda, AV)	33
2.8	Aree archeologiche in cui la situazione di pericolo è generata dalla mancanza di comprensibilità, per ragioni diverse, delle strutture archeologiche	34
2.9	Pericolosità delle principali essenze arboree (da Marino 2009)	34
2.10	Fenomeni di popolazione di segno opposto: a) pressione abitativa attorno alla Cittadella di Amman, Giordania (da [1]); b) spopolamento delle aree del Centro Italia colpite dal terremoto del 2016, Campi Alto di Norcia (PG)	35
2.11	Condizioni di pericolo determinato dall'afflusso incontrollato di visitatori che camminano direttamente sui resti archeologici (area archeologica di S. Giustino, PG; da [2])	36
2.12	Condizioni di pericolo determinate dalla configurazione dello scavo: tagli verticali su terreno argilloso (scavo a Comacchio, FE); fronti scoscesi in terreni incoerenti (Pompei, regio IV)	38
2.13	Le strutture provvisorie in tubo-giunto da ponteggio richiedono comunque un'adeguata progettazione e una manutenzione assidua (Pompei, regio IV)	38
2.14	La struttura di copertura può avere una presenza fisica impattante o essere realizzata in modo tale da alterare o impedire la percezione del resto archeologico: a) area archeologica di Casignana, RC (da: [3]); b) area archeologica presso Atripalda, AV (da [1])	38
2.15	Incremento della temperatura dovuto alle lampade e alle coperture trasparenti (da Camuffo 2014).	40
2.16	La scelta di lasciare esposto uno scavo anche in zone molto isolate o montuose, per di più con tettoie prive di protezioni laterali può comportare la completa perdita di quanto è stato rinvenuto	40
2.17	Alcuni elementi di vulnerabilità strutturale individuabili a Pompei: a) "tracce impiantistiche" nelle murature (cadute di antichi pluviali in terracotta); b) elementi murari snelli e non collegati; c) elementi verticali snelli; d) mancanza di ammorsamento ai martelli murari	42
2.18	Schema di comportamento al sisma di murature isolate o collegate da murature trasversali o coperture	45

2.19	La conservazione delle pavimentazioni in sito, come quelle assai delicate in <i>opus signinum</i> del sito di <i>Fregellae</i> , comporta particolari accortezze (da [1])	48
2.20	Diversi tipi di degrado di pavimentazioni a mosaico (da Laurenti 2006) . . .	50
2.21	Deposito gravitazionale di particelle su rilievi marmorei e statue (da Camuffo 2014)	50
2.22	Degrado generato dall'uomo in aree archeologiche illogiche rispetto al contesto: accumulo di rifiuti e assenza di manutenzione	51
3.1	Il processo di accertamento dei valori finalizzato alla gestione del sito archeologico proposto da De La Torre (1997)	60
3.2	Il teatro greco di Heraclea Minoa con la "copertura" progettata da Minissi e dopo la rimozione di quest'ultima con la costruzione della nuova protezione. Il primo intervento, con i gradini riproposti in perspex permetteva di comunicare, comprendere e fruire il teatro come fosse nuovo senza mai nascondere l'elemento archeologico, tuttavia si è rivelato assolutamente inadeguato dal punto di vista conservativo. Il nuovo intervento rinuncia a questi aspetti per orientarsi alla sola funzione di protezione risultando peraltro piuttosto invadente nel paesaggio.	64
3.3	Schema concettuale delle relazioni tra operazioni sui beni culturali edificati (da Gasparoli et al. 2013)	65
3.4	Ricostruzione virtuale dell'abbazia di Cluny (da [4])	67
3.5	Diverse modalità di anastilosi a Efeso: a) ricostruttiva nella biblioteca di Celso; b) creativa non riconfigurativa nel mausoleo di Traiano (da Gizzi 1997)	72
3.6	Diverse modalità di reintegrare una colonna: a) sottosquadro tridimensionale del fusto; b) completamento di parte della base con materiale diverso (da Gizzi 1997); c) delineazione del fusto con tondini metallici (da [5]) . . .	73
3.7	Schema concettuale delle relazioni tra operazioni sui beni culturali edificati (da Gasparoli et al. 2013)	74
3.8	Diverse modalità di ricostruzione a scopo didattico intraprese dall'ACOR: a) con materiali reali sul sito preistorico di Tall al-'Umayri; b) mediante un pannello trasparente che completa graficamente la veduta (da ACOR 2017)	74
4.1	Esempi precoci di ricostruzioni in sito a Pompei: a) la casa dei Vettii durante il cantiere di ricostruzione negli anni 1890; b) la casa degli Amorini Dorati in una foto del 1957 (da[17])	78
4.2	Le mura Timoleontee di Gela nella sistemazione: a) di Minissi (da [6]); b) attuale (da [7])	79
4.3	Il cantiere vivo come strumento per la comunicazione archeologica (da Carandini 2010)	80
4.4	Allestimento interno e sezioni trasversali della domus dell'Ortaglia a Brescia (da [9])	82
4.5	Coperture archeologiche in Emilia: a) il foro romano di Sarsina, FC (da [10]); b) la <i>domus</i> dei Coiedii a Suasa, AN (da Laurenti 2006)	83

4.6	Musealizzazione nel parco del Rivellino a Osoppo, UD: a) la chiesa di S. Pietro; b) la casa del tamburo (da [11])	83
4.7	Musealizzazione della domus di Tito Macro ad Aquileia, UD (da [12])	84
4.8	Coperture archeologiche in provincia di Frosinone: a) villa romana di Castro dei Volsci (da [13]); case della città romana di Fregellae (da [14])	84
4.9	Coperture archeologiche ad opera di F. Petacchia: a) nel centro di Isernia; b) a Roccaravindola, IS (da [15])	85
4.10	Coperture archeologiche di tipo leggero a Pompei: a) struttura provvisoria in metallo con manto in onduline sulla casa VI,9,7; b) struttura definitiva in metallo con manto in fibrocemento sulla palestra al VIII,2,22 (da [17])	86
4.11	Coperture archeologiche di tipo pesante. La ricostruzione dell'atrio della casa VI,15,1 in cemento armato (a) e nella recente sostituzione in legno lamellare (b; da [17])	87
4.12	La copertura-cantiere dell' <i>insula</i> dei Casti Amanti a Pompei (da [18]; [19])	88
4.13	Musealizzazione della villa del Casale nella versione progettata da Minissi poco prima del suo smantellamento. È evidente il deterioramento materico e funzionale della struttura	88
4.14	Musealizzazione della villa del Casale nel recente intervento di aggiornamento	89
4.15	Viste di progetto della copertura della stoà nord nell'archeologica di Kamarina (da [20])	90
4.16	Vista notturne e diurna della ricostruzione evocativa in maglia d'acciaio della chiesa di S. Lorenzo nel parco archeologico di Siponto a Manfredonia (rispettivamente da [21] e [22])	90
4.17	Proposte di ricostruzione di edifici distrutti dal sisma: a) S. Gregorio a L'Aquila (da Marsugli 2015); b) Sant'Agostino di Amatrice (da Sanfilippo e Romano 2018)	91
4.18	La torre di S. Stefano di Sessanio prima del crollo e dopo la sua rievocazione con i tubi innocenti (da [24])	92
4.19	Efeso, copertura delle case a terrazza: a) vista dall'esterno (da Marsugli 2015); b) vista dall'interno (da Aslan et al. 2018)	93
4.20	Santorini, copertura dell'insediamento di Akrotiri: a) vista dall'esterno (da Doumas 2013); b) vista dall'interno (da [1])	94
4.21	Paphos, vista interna della copertura della casa di Dioniso (da [23])	95
4.22	Tell Mozan (Urkesh) la copertura di protezione delle murature parzialmente scoperta a rivelarne la struttura metallica interna (da [25])	96
4.23	Memoria di Mosé, vista esterna e interna parzialmente riadattato a chiesa (da [26]; [27])	97
4.24	Interventi a contrasto in Spagna: a) la copertura della villa di La Olmeda a Palencia (da [28]); la copertura delle case arabe della Praça Nova a Lisbona (da [29])	98
4.25	Ricostruzioni parziali ed evocative a Xanten (Colonia): a) il tempio (da [1]); b) le terme (da [30])	99

4.26	Copertura archeologica di (a) le terme romane di Badenweiler (da [31]); b) le terme romane di Treviri (da [32])	100
4.27	Esterno e interno delle coperture archeologiche progettate da Zumthor per il sito archeologico romano di Coira (da [33], [30])	100
4.28	Coperture in legno parzialmente evocative a sui complessi archeologici di: a) Bollendorf (da [34]); b) Teurnia (da [1])	101
4.29	Vista dell'interno del sito archeologico di Bibracte-Mont Beuvray con la copertura in opera (da [35], [36])	102
4.30	Viste delle coperture sul sito archeologico di Cassinomagus-Chassenons (da [37])	103
4.31	Vista dell'interno del museo gallo-romano di Vesunna ad opera di J. Nouvel (da [38])	103
4.32	Vista dell'intervento di valorizzazione della villa romana di Plassac (da [39]; [40])	104
4.33	Chiosco per la ricostruzione virtuale in sito dell'abbazia di Enane (da Ruggieri Tricoli 2007)	104
4.34	Vista interne delle coperture di protezione su siti di: a) Bignor (da [30]); b) Lullingstone (da [1])	105
4.35	Viste interne delle coperture delle ville romane di: a) Fishbourne (da [41]) b) Brading (da [42])	106
4.36	Vedute dell'intervento di copertura della villa romana di Dorchester per opera dello studio John Stark and Crickmay (da [43])	106
4.37	Sistemazione di lacerti archeologici conservati <i>in situ</i> all'esterno: a) campiture di ghiaia colorata per evidenziare fasi e ambienti con consolidamento delle creste murarie a raso (da Bonetto et al. 2009); b) copertine di protezione in malta su murature archeologiche in elevato a Ostia (da Pedeli e Pulga 2002)	109
4.38	Ricostruzione evocativa di F. Ceschi del tempio di Apollo a Veio (da [5])	111
4.39	Predisposizione del rinterro secondo Carandini 2010	112
4.40	Predisposizione del rinterro secondo Laurenti 2006	112
4.41	Coperture provvisorie: a) di singoli oggetti in corso di scavo (da Pedeli e Pulga 2002); b) dell'intero scavo (Longola, NA) (da [44])	113
4.42	Tensostrutture con diversi gradi progettazione: a) copertura totale a Mallia, Creta (da [45]); b) coperture parziali riconfigurative nel progetto di Minissi per la villa di Piazza Armerina (EN) (da [46])	114
4.43	Sistemazione di siti in ipogeo: a) area archeologica della biblioteca civica a Bergamo (da Morandini e Rossi 2005); b) area archeologica sotto la cattedrale di Concordia Sagittaria (VE) (da [47])	115
4.44	Effetto esterno di alcuni contenitori archeologici; a) il museo delle terme di Treviri (da [32]); b) il sito paleontologico della Polledrara di Cecanibbio presso Roma (da [47])	116
4.45	Tipi architettonici degli interventi di copertura (da Amendolea 1988)	116
4.46	Coperture totali, definitive, aperte sui lati: a) Villa romana di Patti Marina (da [5]); b) villa romana di Casignana (da Laurenti 2006)	117

4.47	Coperture totali, definitive, chiuse sui lati: a) <i>domus</i> romana di Sant'Angelo in Vado (da [48]); b) villa romana di La Olmeda (da [28])	117
4.48	Tipi di coperture archeologiche a padiglione in rapporto alla scelta strutturale e formale	118
4.49	Dettaglio costruttivo e struttura assemblata utilizzando il mattone d'acciaio (da Gianattanasio et al. 1988)	118
4.50	Tipi architettonici degli interventi di copertura (da Agnew et al. 1996) . . .	119
4.51	Vista dell'interno della copertura del tempio di Apollo a Bassae in Grecia (da [49])	120
4.52	Struttura temporanea tipo gridshell in tubolari pultrusi (elaborazione da Du Peloux et al. 2016)	121
4.53	Imperfetta resa visiva di copertura in vetro: a) appannamento (da Pedeli e Pulga 2002); b) riflessione (da Marino 2009)	124
4.54	Danni indotti alle strutture archeologiche per effetto del collasso della copertura provvisoria di protezione a causa: a) del vento (da [50]); b) della neve (da Pedeli e Pulga 2002)	125
4.55	Componenti degli indici di valutazione dell'efficacia della copertura secondo (Laurenti 2006)	126
4.56	Il circolo virtuoso dell'intervento sul sito archeologico (da Aslan et al. 2018) 128	
5.1	Pittogrammi di alcune esigenze connesse al mantenimento e all'intervento sul sito archeologico: dalle modalità di inserimento e cantierizzazione, ai costi, al rapporto con il pubblico	130
5.2	Utenze possibili del sito archeologico	132
5.3	La sicurezza sul sito archeologico: dal punto di vista del visitatore rispetto a crolli e distacchi delle strutture archeologiche; dal punto di vista di una pressione antropica eccessiva rispetto al sito	134
5.4	La copertura o l'assetto geotecnico ed idraulico del sito possono determinare condizioni di stress per i materiali archeologici e per i visitatori	134
5.5	Una gestione adeguata del sito, come le visite in corso di scavo, permette di stimolare l'attenzione e la sensibilità delle comunità civiche al problema dei siti archeologici	135
5.6	Impossibilità di poter fruire del sito archeologico per l'assenza di strategie comunicative o per la loro incuria	136
5.7	L'immagine attuale del sito archeologico è fortemente influenzata da quanto viene approntato per poterlo fruire	136
5.8	L'integrazione presuppone che le strutture nuove possano essere adeguatamente dotate di impianti in grado di mantenere il clima adatto alla conservazione così come, anche in loro assenza, che la struttura nuova dialoghi con quella antica	137
5.9	La risorsa archeologica è non rinnovabile: lo scavo che espone il materiale senza proteggerlo è altrettanto dannoso della ricostruzione che non si distingue dall'originale	138

5.10	L'intervento di F. Ceschi sulla villa romana di Patti Marina. La passerella sospesa alla copertura salvaguarda i materiali dal calpestio e consente la chiara visione del sito; le strutture nuove si allineano alla preesistenza archeologica (da [5])	140
5.11	La copertura inerbita del sito archeologico di Akrotiri consente di ridurre i cicli termici giornalieri e limitare il guadagno solare garantendo al contempo livelli di illuminazione e ventilazioni adeguati alle necessità dei materiali archeologici e dei visitatori (da Doumas 2013)	141
5.12	Le strutture leggere prefabbricate sono caratterizzate da un impatto sul sito molto limitato in termini di fondazioni e cantierizzazione tuttavia comportano oneri manutentivi notevoli perché si mantengano davvero funzionali e spesso determinano un impatto visivo elevato	141
5.13	La corretta fruizione passa attraverso la gestione in senso lato dell'area, non solo attraverso i pannelli esplicativi e didattici ma anche la gestione dei percorsi e delle forme utilizzate nelle strutture eventualmente utilizzate per proteggere i resti che dovrebbero aiutare a ricostruirli	143
5.14	I nuovi inserimenti dovrebbero sempre dialogare con quanto è loro preesistente e non essere mai tanto loquaci, per quanto dotati di un buon eloquio, da sopravanzare il sito	144
5.15	Una gestione adeguata del sito, come le visite in corso di scavo, permette di stimolare l'attenzione e la sensibilità delle comunità civiche al problema dei siti archeologici	145
5.16	Teoria del giunto nullo. Nella progettazione modulare (serie A) gli elementi modulari vengono associati azzerando l'interfaccia, ciò comporta che gli elementi di finitura e tamponatura non possano essere modulari; al contrario considerando l'effettivo spessore del giunto (serie B) anche gli elementi di finitura seguono la modularità (da Abbate e Pagano 1980)	147
5.17	1) Edilizia tradizionale: non esistono condizionamenti, anche se si fa uso di componenti modulari come il mattone; 2) edilizia semiprefabbricata isostatica: esiste un rapporto biunivoco (isostatico) tra rustico e componente, la zona per il componente è modulare ma quest'ultimo non può avere dimensioni modulari; 3) edilizia semiprefabbricata iperstatica: i componenti prefabbricati vengono a contatto tra loro oltre che con il rustico: il progetto non può essere completo se il costruttore non definisce il rapporto complesso (iperstatico) di coordinamento tra il rustico di sua competenza e i componenti; 4) sistema chiuso: anche il rustico è prefabbricato: l'iperstaticità riguarda l'intero edificio, sicché la committenza dà solo un'indicazione generale delle prestazioni dimensionali e funzionali dell'organismo, i componenti sono utilizzabili sono per questi sistemi e ogni edificio è una risoluzione iterativa di un sistema iperstatico di relazioni (da Pagano 1981)	148
5.18	Grafico psicometrico. Le curve rappresentano il livelli di umidità relativa, le linee diagonali le temperature di bulbo bagnato (da (Camuffo 2014)) . .	150
5.19	Stratificazione termica in ambiente confinato (da Camuffo 2014)	152

5.20	Schema di una tettoia di protezione dello scavo archeologico: a) (da Pedeli e Pulga 2002)	158
5.21	Passerelle per la fruizione del bene archeologico: a) trasparenti sospese ad Aquileia (da [51]); b) in grigliato e in appoggio su piedini a Pompei	159
5.22	Vista di progetto delle coperture adottate sul sito archeologico di Fregellae (FR) caratterizzate dall'uso del legno lamellare per la copertura, pilastri in acciaio e frangisole in legno per la struttura verticale (da Amendolea et al. 1995)	160
5.23	Vista interna della basilica della Villa del Casale nella recente veste museale che ha sostituito l'intervento di Minissi degli anni '50	161
5.24	Differenti atteggiamenti nel confronto con il sito archeologico: a) la <i>domus</i> romana di piazza Nogara a Verona nella sistemazione di Carlo Scarpa (da [52]); b) l'area archeologica della Praça Nova con l'intervento di Carrillho de Graça (da [30])	162
5.25	Basi del progetto: a) elementi del sito archeologico; b) elementi dell'intervento (da Bartolone 2013)	163
6.1	Complessità della stratigrafia archeologica nei pressi di una fondazione: a) a vista; b) a sacco; c) a sacco con piccole fosse di fondazione; d) a sacco e a vista sovrapposti; e) a sacco o a fossa stretta su un lato e a vista sull'altro (da Carandini 2010)	166
6.2	Esempi di sistemi di fondazione in opera su siti archeologici: a) plinti superficiali (Claterna, Bologna); b) micropali (area archeologica del Colombarone, Pesaro); c) plinti in appoggio (villa dei Papiri, Ercolano)	166
6.3	Esempi di uso dei gabbioni: a) materassi drenanti per la formazione di scarpate; b) arginature; c) murature di contenimento; d) fioriere e impieghi in ambito domestico	167
6.4	Deformazioni di mezzi granulari contenuti in maglia metallica sottoposti a carico verticale (Lambert 2007)	168
6.5	Deformate al collasso per a) gabbioni in rete metallica privi di confinamento e controventi interni (da Lambert 2007); b) gabbioni con barre d'armatura a rinforzo degli angoli (da Al Helo et al. 2016)	168
6.6	Componenti e regole costruttive dei gabbioni: a) pallett di gabbioni aperti; b) rete zincata a maglie esagonali doppiamente ritorte (da Lambert 2007); c) montaggio dei gabbioni in maglia zincata (da Sublette 1979); d) gabbioni in rete elettrosaldata di produzione SIRIVE; e) disposizione degli aggancia trasversali (da Lambert 2007)	169
6.7	Pali prefabbricati ad elica in acciaio (da Geopal 2016)	170
6.8	Posa in opera di (da sinistra a destra) pali a vite singola; a vite multipla e a vite continua (da Geopal 2016)	171
6.9	Muri isolati e padiglioni temporanei con struttura verticale in gabbioni	172
6.10	Esempi di texture ottenibili variando il tipo e la forma degli inerti utilizzati nel gabbione	172

6.11	La casa in gabbioni durante la costruzione (da Samayoa et al. 2018)	174
6.12	L'ancoraggio dei padiglioni di Minissi alle murature archeologiche della Villa del Casale (da [46])	174
6.13	Strutture metalliche provvisorie: a) La vecchia copertura di Pitinum Pisaurense a Macerata Feltria (PU) (da [55]); b) gli scavi di S. Vincenzo al Voltuno (da [21])	175
6.14	Strutture metalliche definitive: a) la parte vecchia della copertura della villa di Arianna a Stabia (da [17]); b) area archeologica Montegrotto Terme (PD) (da [56])	175
6.15	Strutture in legno prive di protezione laterale: a) area archeologica di Porto Recanati (MC) (da balneareantonio.it); b) area archeologica di Scoppieto (TR) (da museiprovinciaterni.it)	175
6.16	Coperture a capriate: a) isolata in legno a Fiano Romano (MC) (da tripadvisor.it); b) area archeologica di Scoppieto (TR) (da turismomarche.it)	176
6.17	Coperture parziali in lamellare sulle case di Fregellae (da frosinonetoday.it/)176	
6.18	Montaggio delle strutture reticolari: a) montaggio per parti; b) montaggio a terra e successivo sollevamento (cd. <i>lift slab</i> ; daPrete 1976)	178
6.19	Volte a botte ottenute da grigliati piani ad un reticolo (da Makowski 1977)	179
6.20	Strutture corrugate resistenti per forma (da Makowski 1977)	179
6.21	Gusci reticolari con diverse curvature (da Prete 1976)	179
6.22	Strutture tensegrity: a) modulo prismatico triangolare; b) esempi di maglie strutturali piane, le linee continue sono gli elementi tesi, quelle discontinue i compressi (da Bangash e Bangash 2003)	179
6.23	Graticci di travi piane: a) a maglia quadrata; b) a maglia triangolare (da Makowski 1977)	180
6.24	Grigliati a due reticoli: a) a maglie quadrate sui due piani; b) a maglie quadrate incrociate a 45°; c) a maglie tetraedriche; d) a travi piane incrociate (da Prete 1976)	181
6.25	Schema del sistema Behlen (da Prete 1976)	181
6.26	a) Sistema modulare (Unibat); b) sistema a graticcio (Cash) (da Melchiorre 1977)	183
6.27	Sistemi nodulari: a) a nodi sferici (Mero); b) a nodi a guscio (Nodus); c) a nodi piatti (Premit) (da Melchiorre 1977)	183
6.28	Inadeguato confinamento laterale dovuto a: a) eccessiva superficie vetrata anche se compensata da un pronunciato oggetto di gronda (da [57]); b) completa assenza della parete verticale (da [58])	184
6.29	Copertura della villa di Arianna: a) vista assonometrica del modello privo di rivestimenti; b) vista della struttura applicata al peristilio della villa (da Laurenti 2006)	185

6.30	Soluzioni assai diverse sono ottenibili combinando elementi con analoga funzione e ruolo strutturale ma diversa resa formale: a) proposta di copertura per la ricostruzione di una casa a Palaikastro, Creta (da Jerome 1995); b) proposta di copertura non riconfigurativa per la villa di Casignana (da Laurenti 2006)	185
6.31	Nuova musealizzazione della villa del Casale: a) vista del peristilio con la trave di bordo del tetto e il cordolo di base in primo piano; b) vista della copertura reticolare	186
6.32	Nuova musealizzazione della villa del Casale: a) vista dell'abside della basilica; b) dettaglio della struttura in acciaio e legno	186
6.33	Proprietà meccaniche dei materiali rapportate alla densità: a) modulo elastico; b) resistenza (da Knippers et al. 2011)	187
6.34	Costo dei materiali rispetto: a) la resistenza meccanica; b) la riciclabilità (da Knippers et al. 2011)	187
6.35	Proprietà fisiche e meccaniche delle principali fibre di rinforzo (da Knippers et al. 2011)	190
6.36	Riduzione del modulo elastico dei polimeri all'aumento della temperatura (da Knippers et al. 2011)	193
6.37	Tipi ed effetti sulle proprietà del materiale degli additivi alla mescola polimerica (da Knippers et al. 2011)	194
6.38	Schema del processo produttivo della pultrusione (da [59])	195
6.39	Struttura di un profilo pultruso in polimero fibrorinforzato (da [59])	195
6.40	Schema di produzione di profili mediante la tecnica del <i>filament winding</i> (da [60])	196
6.41	Schema di produzione di elementi bidimensionali mediante le tecniche di stampaggio: a) a mano; b) a spruzzo (da [60])	197
6.42	Esempi di prodotti in GFRP: a) profili strutturali e grigliati unidirezionali ottenuti da pultrusione; b) grigliati bidirezionali formati a mano (da [59])	197
6.43	Elementi di un sistema costruttivo in GFRP: a) montanti; b) pannelli (da [59])	198
6.44	Campionario di tessiture ottenibili con il GRC (da [30])	198
6.45	Proprietà meccaniche risultanti da prove su barre filettate con bulloni in polimero termoplastico; i valori sono in libbre (da [59])	198
6.46	Nomenclatura delle direzioni principali (maiuscolo) e dei singoli laminati (minuscolo) componenti il profilo (da Russo et al. 2012)	199
6.47	Viste esterne e interne dell'intervento di copertura provvisoria con una struttura in FRP della chiesa di S. Maria Paganica a L'Aquila (da Russo et al. 2012)	203
6.48	Giunti di telai strutturali tipo <i>stick-built</i> suggeriti dalla ditta americana Strongwell (da Mottram 2009)	204
6.49	Modalità di collasso delle unioni bullonate su materiali pultrusi: a) schiacciamento locale; b) strappo a trazione; c) espulsione per taglio; d) fenditura (da Mottram 2009)	205

6.50	Diversi tipi di unioni proposti in letteratura per le strutture in GFRP (da Feroldi e Russo 2016)	206
6.51	Grafico Momento-curvatura delle diverse unioni illustrate nella figura precedente (da Feroldi e Russo 2016)	206
7.1	Tipi di tetto: a) displuviato: tomba della Mercareggia; b) testudinato: tomba dei Volumni (da Boethius e Ward-Perkins 1970)	216
7.2	Tipi di atrio a Pompei: a) tuscanico; b) tetrastilo (casa dei Ceii); corinzio (casa dei Diadumeni)	217
7.3	Palazzo di Murlo, prima (in nero) e seconda fase (in bianco) (da Bentz e Reusser 2010)	218
7.4	Esempi di tombe etrusche con somiglianza all'impianto della casa ad atrio: la tomba dei Volumni (sopra) quella dei Vasi Greci (da Boethius e Ward-Perkins 1970)	219
7.5	L'archetipo della casa romana nell'interpretazione di G. Patroni (da Buti 1962)	219
7.6	Case con schema ad atrio di epoca arcaica (VI-V sec. a.C.): a) Palatino, Roma; b) Regisvillae; c) Marzabotto (da Gros 2001)	220
7.7	Case ad atrio tipo nella <i>regio</i> VI di Pompei (da Bentz e Reusser 2010)	221
7.8	Pianta di una casa greca a <i>pastas</i> (da Busana 2018)	221
7.9	Pianta di <i>Fregellae</i> (da Busana 2018)	222
7.10	Pianta della casa di Tito Macro ad Aquileia (da Ghedini e Bonetto 2014)	223
7.11	Pianta di due case di Ostia: a) di Amore e Psiche; b) della Fortuna Annonaria (da Calza et al. 1953)	224
7.12	Tipo-base di casa ad atrio (Pompei, casa del Chirurgo VI,1,9 da Gros 2001): 1) <i>vestibulum</i> e <i>fauces</i> ; 2-3) <i>tabernae-cubicula</i> ; 4) <i>atrium</i> ; 5) <i>cubicula</i> ; 6) <i>alae</i> ; 7) e 9) <i>triclinia</i> ; 8) <i>tablinum</i> ; 10) <i>porticus</i> ; 11) <i>hortus</i>	226
7.13	Analisi di visibilità interna della casa di Trebius Valens a Pompei (III, 2, 1, da Anderson 2005)	226
7.14	Ingressi monumentali a Pompei: a) casa del Fauno; b) casa di Pansa; c) casa dei Ceii	227
7.15	Profondità del campo visivo in alcune case di Pompei: a) casa di Sallustio; b) casa del labirinto; c) casa dei Dioscuri	228
7.16	Vista dell'atrio verso il tablino nella Casa del Tramezzo di Legno a Ercolano (da [1])	229
7.17	Il tablino prima e dopo l'ellenizzazione a Pompei: a) la <i>caupona</i> di Sotericus; b) la casa di Pansa	230
7.18	Dettaglio delle prese di luce di due cubicoli nella casa dell'Efebo a Pompei	231
7.19	Esempi di <i>oeci</i> : a) pianta e sezione di un <i>oecus</i> tetrastilo (Pompei, casa delle Nozze d'Argento); b) pianta e sezione di un <i>oecus</i> corinzio (Pompei, casa del Labirinto); c) disegno prospettico di un <i>oecus</i> egizio (Ercolano, casa dell'Atrio a Mosaico); d) pianta di un <i>oecus</i> ciziceno (Ercolano, casa dei Cervi) (da Gros 2001)	232

7.20	Esempi di scale a Pompei: a) traccia della scala in legno nell'intonaco della parete dell'atrio della casa I,12,15; b) scala di accesso ai livelli superiori delle terme del foro (da [17])	233
7.21	Assonometria ricostruttiva e pianta delle case testudinate o a schiera come individuate da Hoffmann (1979) (da Nappo 1994)	233
7.22	Pianta delle protocase: a) del Centauro (VI,9,3); b) del Granduca Michele (VI,5,5) (da Coarelli e Pesando 2011)	234
7.23	Pianta delle case 11 e 17 di Fregellae (da Battaglini e Diosono in Bentz e Reusser 2010)	235
7.24	Pianta delle case artigiane di <i>Kainua</i> -Marzabotto (da Busana 2018)	236
7.25	Frammento della <i>Forma Urbis</i> con tre case ad atrio (da Boethius e Ward-Perkins 1970)	236
7.26	Ricostruzione del caseggiato del Serapide a Ostia (da Mueller e Vogel 1996)	237
7.27	Case a <i>prostas</i> (da Busana 2018)	238
7.28	Ricostruzione di un' <i>insula</i> di Ostia (da Boethius e Ward-Perkins 1970) . . .	239
7.29	Tipi di <i>insulae</i> ostiensi: a) a corte con portico; b) a corte senza portico; c) con parete di spina centrale; d) con corridoio centrale (riadattato da Calza et al. 1953)	240
8.1	Confronto tra uno spazio urbano aggregatosi secondo: a) i soli condizionamenti fisici e ambientali (centro storico di Polignano (BA), da Caniggia e Maffei 1979); b) uno schema preordinato che si sovrappone al condizionamento fisico (Priene, da Zaffagnini et al. 1995)	244
8.2	Rapporti tra misure di superficie in uso nel mondo romano in Italia (da Ioppolo 1991)	245
8.3	metodi di progetto: a) modulare egizio: capitello di Hator, vista frontale e laterale (da Corso 2016); b) proporzionale greco: prospetto del cosiddetto Tempio degli Ateniesi a Delo (da Wilson Jones 2001)	247
8.4	Costruzione geometrica e corrispondenti valori geometrici e aritmetici proposti da Vitruvio per il dimensionamento del tablino rispetto alla larghezza dell'atrio (rielaborazione da Geertman 1984b)	249
8.5	Piante di case a corte: a) Italica (Spagna); b) Fez (Marocco); c) Jilin, Cina (da Petruccioli 2006).	251
8.6	Relazione tra abitazione, corte e ingresso a Olinto (da Caniggia e Maffei 1979)	251
8.7	Processo tipologico della casa a corte, varianti sincroniche: a) case a corte a un piano; b) case a corte a due piani. In a) lo spazio a disposizione è maggiore e prevale la funzione residenziale di protezione degli spazi interni; in b) la minore quantità di spazio a disposizione e l'importanza commerciale del fronta stimola la crescita in altezza lungo il fronte o tabernizzazione (da Petruccioli 2006)	252

8.8	Processo tipologico di insulizzazione. La compresenza di più nuclei familiari attorno alla stessa corte determina il progressivo intasamento dello spazio aperto e la crescita in altezza di corpi affacciati sulla via-corte interna invece della strada (da Petruccioli 2006)	253
8.9	Riparazioni e ricostruzioni post-sismiche (in rosso) e nuove costruzioni (in giallo) individuate dal progetto RECAP (da [61])	255
8.10	Schemi planimetrici di isolati di: a) Pompei, <i>regio</i> VI (da Ioppolo 1991; b) Ercolano (da De Kind 1998); c) Pompei, <i>regio</i> I (da Ioppolo 1991)	257
8.11	Curve di livello del piano di calpestio della città archeologica di Pompei (da Holappa e Viitanen 2011)	258
8.12	Assi portanti e la cosiddetta "alstadt" di Pompei (da Dobbins e Foss 2007)	258
8.13	Schema della suddivisione originale dei lotti negli isolati VI,14 e V,1 (da Dobbins e Foss 2007)	259
8.14	Schema della suddivisione in lotti nelle <i>regiones</i> I e II (da Nappo 1994) . .	260
8.15	Schema della suddivisione dei lotti di alcuni isolati di Pompei	261
8.16	Schema della suddivisione dei lotti con le relative misure in piedi oschi degli isolati III e IV di Ercolano (da De Kind 1998)	262
8.17	Tipi edilizi 1 e 2 individuati da Nappo (1994)	263
8.18	Tipi edilizi individuati a Pompei da Wallace-Hadrill (1994)	265
8.19	Case definite dell'élite sannitica Zanker (1993)	266
8.20	Tipi edilizi individuati a Ercolano da Pierattini (2009): a) "casa italica"; b) "casa di età sannitica"; c) casa ad atrio e peristilio ("sannitica ellenizzata")	267
8.21	Tipi edilizi individuati a Pompei da De Kind (1998)	267
8.22	Tipi proposti di case: a) minima a corridoio (VII, 3, 38); b) minima ad atrio (VI, 2, 13); c) ad atrio eccentrico (VI, 9, 7); d) canonica (VI, 13,6); e) a due atrii (VI, 8, 23); f) non tipica (VII, 12, 26)	269
8.23	Differenze nell'assegnazione della proprietà urbana: a) Olinto (da Wallace-Hadrill 1994); b) Pompei, <i>regio</i> VI	269
8.24	Sequenza degli spazi rigidamente orientati nella casa greca: a) Priene; b) Pireo (da Zaccaria Ruggiu 1995)	270
8.25	Sequenza degli spazi aperti indifferenti all'orientamento nella casa romana a Pompei: a) <i>insula</i> VI,13; b) <i>insula</i> I, 2	271
8.26	Test di verifica della normalità della distribuzione per le misure rilevate di fronte e lato delle case minime	274
8.27	Test <i>t</i> per i valori di 32' per il fronte e 64' piedi per il lato delle case minime	275
8.28	Test <i>t</i> per i valori di 44' per il fronte e 66' piedi per il lato delle case minime	275
8.29	Test <i>t</i> per i valori di 32' per il fronte e 64' piedi per il lato delle case minime	275
8.30	Schemi delle variazioni di impianto delle case a fronte stretto, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso avviene sempre dal lato in basso	276

8.31	Schemi delle variazioni di impianto delle case a atrio eccentrico, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso avviene sempre dal lato posto in basso	277
8.32	Schemi delle variazioni di impianto delle case a atrio canoniche, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso è sempre posto sul lato inferiore	279
8.33	Schemi delle variazioni di impianto delle case a fronte stretto, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il numero la numerosità totale nell'abitato	280
8.34	Esempi di case ottenute dall'accorpamento di più case preesistenti: a) Casa dell'Efebo I, 7, 11; b) Casa della Fontana Piccola VI, 8, 23	280
8.35	Mappatura dei tipi edilizi individuati a Pompei	284
9.1	Evidenze del danno sismico nelle <i>domus</i> delle Terme del Sarno. La buona qualità dell'ammorsamento tra muri è testimoniato dalla lesione ad andamento diagonale nella parete invece di sub-verticale presso l'innesto tra pareti ortogonali. Si nota inoltre la presenza delle catene angolari nell'opera reticolata e la prosecuzione nell'angolata delle assise di mattoni dell'opera vittata mista	296
9.2	Presidi antisismici a Pompei: a) puntellamenti risalenti al terremoto dell'80; b) catena ancorata alla muratura tramite un perno passante	296
9.3	Esempi delle più diffuse murature di Pompei: a) opera incerta; b) opera reticolata; c) opera vittata mista	297
9.4	Sezione geologica corrispondente al fronte meridionale della regio VIII di Pompei (da Nuzzo 2015)	298
9.5	Esempi di fondazioni a Pompei: a) in blocchi di peristilio nella casa di Arianna; b) in conglomerato in cavo libero nella casa VII,2,30 (da Pedroni 2011)	299
9.6	Esempi di coperture impiegate a Pompei: a) solaio SAP in breccia sulle murature archeologiche in condizioni di forte degrado (VI,11,9); b) coperture leggere su sostegni metallici indipendenti dalle murature (VII,1,40); c) copertura in legno di recente costruzione con manto sottotegola in fascine di legno e in appoggio sulla muratura (VI,9,2) (da [17])	300
9.7	Schemi planimetrici ricostruiti di due tipi di <i>domus</i> ad atrio eccentrico e di una casa ad atrio minima. Il retino puntinato indica l'atrio, il grigio l'orto-giardino. Quote in piedi oschi	300
9.8	Esempi di loggiati a Pompei e Ercolano: a) Pompei, insula dei Casti Amanti, fronte su via dell'Abbondanza (da [64]); b) Ercolano, casa sannitica, vista dell'atrio verso il giardino (da [21])	301
9.9	Esempi di ricostruzioni di solai recenti a soli fini didattici e non strutturali a Pompei	303
9.10	Balconi e pensiline di ricostruzione a Pompei	304

9.11	Esempi di coperture impiegate a Pompei: a) rovine in forte degrado (VI,2,10); c) ruderi con le creste murarie pareggiate (VI,2,22); c) edifici con copertura di ricostruzione (IX,13,1; da pompeiiinpictures.org)	304
9.12	Schematizzazione per l'implementazione in Vulnus di una casa del tipo minimo. I numeri entro i cerchi indicano le <i>pareti</i> , i numeri in corsivo i <i>nodi</i> , i restanti i <i>setti</i>	307
9.13	Curva di fragilità per l'edificio di Fig. 9.12 relativa al livello di danno D2-D3	307
9.14	Scheda GNDT di II livello per la muratura (da Benedetti e Petrini 1984) . .	310
10.1	Esempio di algoritmo di modellazione parametrica e sua visualizzazione nel software di modellazione (da Vierlinger 2013)	312
10.2	Rappresentazione schematica degli oggetti presenti in un algoritmo visuale: a) componente di input; b) contenitore; c) componente standard (da Izzo 2017)	313
10.3	Costituenti del componente standard: a) input; b) nome; c) output (da Izzo 2017)	314
10.4	Costituenti del componente standard: 1) filo privo di dati; 2) componenete con dati multipli di ingresso indipendenti; 3) connettore con dati multipli; 4); connettore con un unica informazione 5) trasmissione dati con strututra ramificata (da Basso 2018)	315
10.5	Rappresentazione schematica di generazione lineare con la modellazione parametrica. In questo caso è l'utente dall'esterno a modificare personalmente i parametri per ottenere l'output voluto (da Izzo 2017)	316
10.6	Rappresentazione schematica della generazione circolare con la modellazione parametrica. In questo caso il risultato finale si ottiene solo dopo che sono state calcolate n iterazioni dell'algoritmo (da Izzo 2017)	316
10.7	Grafo della procedura di ottimizzazione genetica (da Gerbo e Salikis 2014)	318
10.8	Interfaccia grafica di Rhinoceros Software (da Basso 2018)	319
10.9	Interfaccia grafica o <i>canvas</i> di Grasshopper Basso 2018)	320
10.10	Interfaccia grafica di Galapagos (da Basso 2018)	322
10.11	Fasi della definizione del modello-tipo parametrico della casa testudinata (da Basso 2018)	323
10.12	Variazioni parametriche consentite all'altezza del modello e alla dimensione del fronte (da Basso 2018)	323
10.13	Rappresentazione schematica del flusso di dati per la definizione del modello (da Basso 2018)	324
10.14	Definizione degli assi degli elementi componenti i pilastri (a) e le travi della copertura (b; da Basso 2018)	326
10.15	Definizione degli assi baricentrici degli elementi delle pareti (a) e dello sporto di copertura (b; da Basso 2018)	327
10.16	Completamento degli angoli dello sporto di gronda (a) e definizione degli ulteriori irrigidimenti (b; da Basso 2018)	328

10.17	Possibili modelli ottenibili mediante la modellazione parametrica: a) strutture a telaio; b) strutture reticolari spaziali; c) strutture tipo gridshell (da Basso 2018)	329
10.18	Rappresentazione grafica dell'algoritmo in Grasshopper. Si individuano: 1) la definizione della geometria della domus; 2) istruzioni per la creazione della maglia di copertura; 3) aggiunta e modifica della posizione dei punti di appoggio; 4) analisi strutturale e verifiche (da Basso 2018)	329
10.19	Rapporto tra i plugin di analisi strutturale e ottimizzazione (da Gerbo e Salikis 2014)	330
10.20	Viste della struttura una volta implementate le sezioni strutturali (da Basso 2018)	331
10.21	Analisi strutturale del modello: a) momenti; b) deformazioni (rosso = massima deformazione; verde = minima deformazione; da Basso 2018) . .	331
10.22	Vista della sezione dell'algoritmo che permette la definizione del modello analitico per il calcolo strutturale (da Basso 2018)	332
10.23	Interfaccia dei plugin di ottimizzazione: a) Galapagos; b) Octopus (da Basso 2018)	333
10.24	Stralcio della sezione del codice che esegue l'analisi di ottimizzazione multiparametrica (da Basso 2018)	334
10.25	Deformate allo SLE dei prototipi strutturali (da Basso 2018)	335
11.1	Concept della struttura di copertura come involucro: a) rivestimento esterno; b) strato strutturale portante; c) rivestimento interno	340
11.2	Strutture e copertura in allineamento, ($h = 2,5 \div 3,5 m$)	341
11.3	Strutture in disallineamento interno, involucro in allineamento	341
11.4	Strutture in disallineamento	342
11.5	Sezioni tipologiche delle condizioni di ritrovamento delle murature archeologiche: a) fossa di spoglio; b) spiccato murario ($h \leq 1,5 m$); c) lacerto di parete ad altezza di interpiano ($h = 2,5 \div 3,5 m$)	342
11.6	Rete di drenaggio a gravità per siti archeologici: a) in terreni sciolti; b) in terreni argillosi. Legenda: a) 1. pavimentazione archeologica da proteggere; 2. lisciata in malta conformata a cunetta entro il cavo di spoglio della parete; 3. canalizzazione a gravità; 4. pozzetto di recapito finale; b) 1. pavimentazione archeologica da proteggere; 2. cecola in argilla compattata entro il cavo di spoglio della parete, 3. fosso di guardia perimetrale	343
11.7	Pianta dei corsi, prospetto e sezione trasversale del cordolo in muratura con collegamenti puntuali	346
11.8	Pianta dei corsi, prospetto e sezione trasversale del cordolo in muratura con collegamenti puntuali	346

11.9	Elemento per assicurare il centraggio verticale della struttura nel caso di fondazioni su pali. Legenda: 1) mensola di collegamento (opzionale); 2) fazzoletto verticale; 3) piastra forata e rifinita al tornio; 4) bulloni di serraggio; 5) giunto sferico; 6) manicotto filettato per la regolazione in altezza con la predisposizione dei fori per il collegamento con il palo; 7) fusto del palo	347
11.10	Piastra di fondo dei plinti deformabili o semirigidi per il fissaggio dei tirafondi, sezione e schema assonometrico. Legenda: 1) barra filettata; 2) controdado; 3) ponticello in acciaio inox saldato; 4) piastra rigida acciaio inox forata; 5) piastra deformabile acciaio inox sagomata a freddo	348
11.11	Sistema tipo <i>stick-built</i> , vista assonometrica complessiva e dettaglio dei nodi	349
11.12	Sistema a telaio, dettaglio del montante e del nodo tra montante e copertura	350
11.13	Componenti del sistema ad incastro	350
11.14	Dettaglio dei giunti in polimero termoplastico	351
11.15	Possibili rivestimenti architettonici e modalità di aggancio alla struttura portante	352
12.1	Inquadramento del complesso delle Terme del Sarno nella porzione meridionale di Pompei	357
12.2	Veduta da sud con individuati i gruppi di ambienti descritti nel testo.	359
12.3	Piante a livello della città archeologica e sezione trasversale del complesso (da Bernardi et al. 2019)	359
12.4	Piante dei livelli interrati con indicazione in sezione della quota progressiva (da Bernardi et al. 2019).	360
12.5	Sezione longitudinale e trasversale sul calidarium delle terme del complesso. Il colore, passando dal verde al rosso, indica dalle aree attestate dal punto di vista archeologico sino alle totali ricostruzioni (da Bernardi et al. 2019).	361
12.6	Restituzione fotogrammetrica della facciata del complesso vista da Sud (da [66])	362
12.7	Piante della <i>domus</i> con indicazione delle funzioni ricostruite degli spazi.	363
12.8	Tracciati regolatori dei tre nuclei secondo le indicazioni vitruviane.	365
12.9	Tracciati regolatori dei tre nuclei secondo le indicazioni vitruviane.	366
12.10	Sezione trasversale sull'atrio al num 18 e sul tablino nelle due versioni	367
12.11	Sezione trasversale con l'interpretazione della costruzione geometrica proposta da Vitruvio.	368
12.12	Sezione trasversale sull'atrio al numero 21 e sul peristilio <i>n</i>	369
12.13	Restituzione fotogrammetrica della parete nord dell'atrio al numero 18	370
12.14	Prime tre forme modali della struttura a graticcio formante le pareti della ricostruzione	371
12.15	Schema strutturale con e senza la partecipazione della struttura del tetto e schema strutturale del traliccio di controventamento inserito nel controsoffitto	371
12.16	Sezione trasversale dell'atrio <i>b</i> con l'intervento di copertura	373

12.17	Sezione longitudinale dell'atrio <i>b</i> con l'intervento di copertura	374
12.18	Vista di uno dei padiglioni componenti la copertura: a) modello geometrico; b) configurazione deformata (50x) per i carichi di esercizio e ambientali (da Basso 2018)	375
12.19	Vista del padiglione di copertura trasformato in un modello Rhino (da Basso 2018)	376

Dove non specificata la fonte, le immagini sono dell'autore

Elenco delle tabelle

2.1	Componenti dell'indice di vulnerabilità archeologica (da Laurenti 2006)	43
3.1	Corrispondenza terminologica dei termini connessi alle attività riconducibili al sito archeologico.	66
4.1	Problemi generati da o di cui è passibile la copertura in rapporto al tipo (elaborazione da Marino 2009)	123
5.1	Valori termoigrometrici consigliati per la conservazione chimico-fisica ottimale dei manufatti (da MIBACT 2000)	152
5.2	Valori limite per le concentrazioni di inquinanti (da MIBACT 2000)	152
5.3	Condizioni di illuminamento massimo per diversi materiali costituenti di beni culturali (da MIBACT 2000)	154
6.1	Proprietà meccaniche di alcune matrici polimeriche termoindurenti (elaborazione da Bank 2006; Knippers et al. 2011)	193
6.2	Livelli di conservazione delle proprietà meccaniche all'aumentare della temperatura (da Fibergrate 2009).	194
6.3	Contenuto volumetrico di fibra per differenti processi produttivi	199
6.4	Caratteristiche meccaniche dei materiali pultrusi per le categorie E23 e E17 (UNI 13706)	200
6.5	Coefficienti di sicurezza consigliati da Fibergrate 2009	202
6.6	Limitazioni sulle caratteristiche geometriche dei giunti bulloni secondo la CNR DT 205	205
8.1	Multipli e sottomultipli del piede romano	245
8.2	Superfici, spazi e stanze relative ad un campione di 234 abitazione (da Wallace-Hadrill 1994)	264
8.3	Numero di abitazioni per tipo e per <i>regio</i> a Pompei	274
9.1	Corrispondenza tra tipo di muratura in uso a Pompei e classe GNDT	298
9.2	Corrispondenza tra tipo di muratura in uso a Pompei e classe GNDT. La prima lettera corrisponde alla situazione più probabile	306
9.3	Tabella di rilievo delle geometrie dell'edificio per l'inserimento in <i>Vulnus</i>	309

*Ai miei nonni
perché tanto mi hanno saputo insegnare*

Abstract

Abstract

Archeological sites are an important part of the cultural heritage of mankind. They may assume either the appearance of the 'monument' — such as the world-famous palace or city or place — or of the 'trace' — that is the everyday pottery of a family — but they both have a value. However, preserving their fabric is not enough for their conservation, an activity which depends on the transmission of a message about their importance and meaning for today's everyday life.

In situ conservation, provided it is possible and sensible according to the site's conditions, is considered the best option to convey the message in the most complete and direct way. However, this implies to cope with risks and problems, such as the erection of a site shelter, which do not exist if the same objects are moved to the museum.

Only a few, among the countless examples built on archeological sites, offer a real protection to the materials or a real support to the display of the site and even lesser an effective combination of the two. The lack of assessment criteria is also an obstacle to the definition of a shared design procedure.

This thesis offers a methodology for the interpretation, reconstruction and display of the Roman house in ancient Italy, in the specific version of the pompeian atrium house finalized to the definition of a new type of archaeological shelters. In relation to the risk assessment of archeological materials preserved in situ and to an evaluation of existing archaeological shelters according to the environmental and architectural criteria, a scheme of design guidelines is proposed. These guidelines are used for the selection and adaption to the archaeological sites of existing technical solutions, in order to guarantee availability and to reduce costs. Finally, existing building materials relates with the Roman house through the geometric schemes recognizable in it.

The whole procedure, parametrically translated, is implemented into a 'visual algorithm' to explore the many possibilities existing even in a, apparently limited, case, such as the archaeological town of Pompeii.

The research ends with the application of the most effective solution to the reconstruction of a part of the *domus* above the Sarno Baths complex in the *regio* VII of Pompeii.

Riassunto

I siti archeologici sono una parte fondamentale del patrimonio culturale dell'umanità. Essi possono assumere l'aspetto del monumento — palazzi, città o luoghi noti a tutto il mondo — o della traccia — come la ceramica quotidianamente utilizzata da una famiglia — ma in entrambi i casi è riconoscibile un valore. Comunque la pura conservazione materiale non è sufficiente al fine della sopravvivenza del messaggio e del significato, che invece deve essere adeguatamente trasmesso e reso visibile per poter avere un ruolo nella vita contemporanea.

La conservazione *in situ*, ammesso che sia possibile e ragionevole rispetto alle condizioni stesse del sito, è ritenuta una delle migliori opzioni per la trasmissione del messaggio nel modo più diretto e completo. Tuttavia essa comporta di dover affrontare problemi e rischi, tra cui la realizzazione di una copertura, che non esisterebbero nemmeno se gli stessi oggetti fossero trasportati nel museo.

Solo pochi degli innumerevoli esempi in opera sui siti archeologici offrono una reale protezione o una efficace presentazione del sito e un numero ancor più ristretto una valida risposta ad entrambi i problemi. La mancanza di criteri condivisi per la valutazione delle coperture, complica anche la definizione di criteri di progetto adeguati e condivisi.

Questa tesi offre una metodologia per l'interpretazione, la ricostruzione e la presentazione della casa romana nell'Italia antica, nella specifica accezione della casa ad atrio pompeiana finalizzata alla proposta di un nuovo tipo di copertura archeologica.

In rapporto a una valutazione del rischio cui sono soggetti i materiali archeologici conservati sul posto e a una valutazione dell'efficacia delle coperture esistenti rispetto a criteri di carattere ambientale e architettonico, si fa la proposta di uno schema di linee guida per il progetto. Tali linee guida sono utilizzate per la selezione e l'adattamento al contesto archeologico di soluzioni tecnologiche già esistenti, al fine di garantire la reperibilità e ridurre i costi. Infine, le soluzioni tecnologiche interessanti entrano in rapporto con la casa romana attraverso gli schemi geometrici in essa riconoscibili.

L'intera procedura di progetto viene implementata in modo parametrico in un "algoritmo visuale" che consente di poter esplorare numerose variazioni riconoscibili anche in un caso apparentemente limitato come l'antica Pompei.

Il lavoro si conclude con l'applicazione delle soluzioni ritenute più efficienti alla ricostruzione filologico-integrativa di parte della domus insistente al di sopra del complesso delle Terme del Sarno nella *regio* VIII di Pompei.

Introduzione

I siti archeologici sono una parte fondamentale del patrimonio culturale dell'umanità. Essi possono assumere l'aspetto del monumento — palazzi, città o luoghi noti a tutto il mondo — o della traccia — come la ceramica quotidianamente utilizzata da una famiglia — ma in entrambi i casi è riconoscibile un valore. Comunque la pura conservazione materiale non è sufficiente ad assicurare la sopravvivenza del sito, poiché quest'ultima dipende piuttosto dalla capacità di trasmetterne il significato in modo che esso possa avere un ruolo nella vita contemporanea.

La conservazione *in situ*, ammesso che sia possibile e ragionevole rispetto alle condizioni stesse del sito, è ritenuta una delle migliori opzioni per la trasmissione del messaggio nel modo più diretto e completo. Tuttavia essa comporta di dover affrontare problemi e rischi, tra cui la realizzazione di una copertura, che non esisterebbero nemmeno se gli stessi oggetti fossero trasportati nel museo.

Solo pochi degli innumerevoli esempi in opera sui siti archeologici offrono una reale protezione o una efficace presentazione del sito e un numero ancor più ristretto una valida risposta ad entrambi i problemi. La mancanza di criteri condivisi per la valutazione delle coperture complica anche la definizione dei criteri di progetto necessari.

Poiché si tratta di formulare un giudizio, è necessario individuare i criteri tecnici ed etici rispetto ai quali farlo. Ciò comporta di interrogarsi sui tre aspetti del *cosa*, inteso come oggetto dell'azione e azione in sé, del *perché* si agisce, e del *come* si agisce.

La prima parte di questa tesi cerca, tramite il supporto di un ampio studio bibliografico, di inquadrare i primi due problemi proponendo una sintesi degli attuali orientamenti in merito all'oggetto della conservazione — sito archeologico, rudere, manufatto, bene culturale, ecc. (Cap. 1) — e alle strategie utilizzate per esplicitare l'azione conservativa dal punto di vista teorico — manutenzione, restauro, reintegrazione, ecc. (Cap. 3) — e pratico — rinterro, copertura archeologica, ricostruzione, ecc. (Cap.4) —.

Lo stato dell'arte è apparso caratterizzato dalla presenza di numerose indicazioni progettuali, prive tuttavia di organicità di definizione, e da ancor più numerosi esempi concreti, tutti egualmente manchevoli sotto uno o più di quegli aspetti ritenuti critici ai fini della conservazione. Il contributo innovativo della tesi in questa fase della ricerca è da ricercarsi nell'organizzazione dei criteri necessari alla definizione del progetto, nelle due accezioni dell'istanza conservativa (Cap. 2) e dell'istanza architettonico-gestionale (Capp. 5 e 6). In particolare per la prima sono stati definiti più chiaramente i rischi che corrono i materiali archeologici lasciati *in situ* ricorrendo all'attuale formulazione del concetto di rischio, dovuto alla combinazione dei tre fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Per la seconda si è passati attraverso una fase di valutazione dell'efficacia delle soluzioni

esistenti per arrivare ad esprimere in termini tecnici, e quindi controllabili mediante un progetto, le esigenze emerse, anche implicitamente, nel corso dello studio. Tale traduzione in campo tecnico ha permesso finalmente di esprimere uno schema di linee guida, il più possibile completo, e di poter indirizzare verso la scelta di certe soluzioni tecnologiche potendole valutare rispetto a criteri più compiutamente definiti. L'insieme di indirizzi qui raccolti è stato utilizzato quale criterio di controllo della fase di progetto.

Non sarà possibile affrontare i temi connessi alla gestione del sito archeologico, dal punto di vista sociale ed economico, poiché, pur nella sua cruciale importanza rispetto all'argomento generale, richiederebbero un approfondimento specifico di tale portata da esulare dai limiti del presente lavoro.

Nel corso di tali fasi preliminari sono emersi in particolare i seguenti "nodi" quali particolarmente problematici o determinanti per il successo dell'operazione di copertura:

1. La conservazione: quali le condizioni più adatte per assicurare la sopravvivenza fisica del materiale di scavo grazie alla quale è possibile assicurare la trasmissione dei valori;
2. La dimensione: quale la dimensione ottimale per l'intervento di copertura, in rapporto al sito archeologico, nella sua estensione complessiva (variabile peraltro nel corso del tempo) e nella configurazione architettonica dei lacerti rinvenuti (se si tratta di strutture edilizie);
3. La geometria: quali il modulo e la configurazione ottimali per offrire una adeguata adattabilità a casi diversi, ciascuno potenzialmente singolare, per via della posizione geografica e topografica, del contesto ambientale, dell'entità e della configurazione dei lacerti, dell'epoca storica di appartenenza dei materiali rinvenuti;
4. Il materiale: stabilito a priori di evitare l'impiego del cemento armato sul sito archeologico per motivi che variano dall'impatto delle attrezzature di cantiere all'entità fisica delle strutture, è presto risultato evidente che acciaio, legno e alluminio presentano parimenti svantaggi significativi nell'applicazione in contesto archeologico, in particolare di durabilità e di costo;
5. L'interazione con l'esistente (architettonica e strutturale): quanto si aggiunge sul sito archeologico stabilisce un rapporto che altera gli equilibri esistenti, creati dallo scavo o sedimentati nel tempo della formazione del rudere, ciò accade sia dal punto di vista estetico-visuale sia tecnico-strutturale ed entrambi devono essere attentamente ponderati;
6. La progettazione: la molteplicità dei casi esistenti e la numerosità delle richieste da rispettare nella definizione della soluzione architettonica rendono di fatto impossibile, per motivi economici e temporali, una progettazione secondo il tradizionale paradigma di tentativi e correzioni.

Nella seconda parte della tesi si cerca di dare risposte a questi temi ricorrendo, come principio fondamentale, in assenza di una specifica valutazione economica, all'integrazione di soluzioni già esistenti al fine di ridurre i costi.

Linee guida e soluzioni tecnologiche adatte al sito archeologico non sono tuttavia sufficienti a "dare forma" al progetto di copertura, e, d'altra parte, è concettualmente sbagliato fare

di uno o più esempi particolari un modello applicabile in tutte le situazioni. Si è cercato pertanto di trovare un modo per avere un termine di paragone concreto, necessario per rispondere alle questioni elencate in precedenza, senza avere tuttavia il grado di realtà così elevato di un caso specifico. La soluzione è stata individuata nella scelta di un ambito di studio — l'abitazione privata romana nel periodo repubblicano fino alla prima età imperiale con particolare riferimento a Pompei (Capp. 7-8) — più specifico, ma caratterizzato da ancora un buon grado di variabilità interna. Di questo ambito si sono cercati gli strumenti in grado di dare, partendo dalle linee generali comuni di questa categoria, una risposta generalizzata ma non generalista al problema in cui sia possibile valutare anche la versatilità e la flessibilità dell'applicazione. Tali strumenti sono stati riconosciuti nella tipologia e negli schemi compositivi geometrici dell'architettura classica (Cap. 8), utilizzati come base per la valutazione dell'utilità strutturale (Cap. 9) e la formulazione della soluzione architettonica (Cap. 10). A questi sono infine seguiti la visualizzazione più in concreto della forma del sistema costruttivo (Cap. 11) e la sua applicazione ad un caso studio archeologico (Cap. 12).

Tornando ai problemi evidenziati in precedenza, si sono individuate in particolare le seguenti risposte:

1. In assenza di specifiche indicazioni sui parametri ambientali più adatti per la conservazione dei materiali archeologici in sito, è apparso chiaro che la loro stabilizzazione rispetto ai valori medi è condizione necessaria. Il progetto si orienta pertanto sulle soluzioni del tipo "edificio passivo" dal punto di vista energetico e integra gli elementi necessari ad assicurare la protezione dei lacerti dalle aggressioni antropiche e ambientali;
2. La soluzione della copertura parziale dei siti risulta preferibile, laddove questi presentino il lacerto emergente, il progetto deve poter utilizzare i moduli dimensionali utilizzati nella progettazione del sistema architettonico antico. Pertanto il progetto adotta una modularità basati sui sistemi metrologici in uso nell'Italia romana (piedi romani e oschi);
3. Le soluzioni individuate in un primo momento garantivano la flessibilità del sistema ma ancora non si era in grado di "visualizzarle". È stato pertanto necessario definire un ambito di applicazione, riconosciuto nella casa romana, particolarizzato nella sua accezione pompeiana. Uno studio delle regole compositive dell'architettura domestica del sito ha permesso di fornire la necessaria concretezza conservando tuttavia un adeguato livello di astrazione dai casi singoli;
4. Il materiale innovativo proposto è stato individuato nei polimeri rinforzati con fibre di vetro che godono di buone proprietà meccaniche (intermedie tra il legno e l'acciaio), con un peso proprio pari a circa 1/5 di quelle dell'acciaio e una resistenza alla corrosione di gran lunga superiore, caratteristiche che ne rendono interessante una applicazione in ambito archeologico;
5. La riconfigurazione dell'assetto volumetrico del rudere assicurando al contempo un certo grado di protezione dal rischio sismico delle strutture e del fruitore. Si è cercato anche di stabilire l'utilità potenziale del sistema mediante una prima valutazione di vulnerabilità del costruito archeologico di Pompei a scala urbana;

6. Il controllo in tempo reale degli esiti delle modifiche ad uno qualsiasi dei parametri è possibile traducendo il processo di modellazione è tradotto in un algoritmo nel quale i fattori progettuali diventano variabili parametriche di tale algoritmo, diventa possibile. Questi strumenti consentono di poter individuare anche soluzioni ottimali in rapporto a funzioni in grado di descrivere il comportamento della struttura, svolgendo una funzione di indirizzo pre-progettuale importantissima.

In rapporto ai vari temi, sono state esplorate un discreto numero di soluzioni tecnologiche, per verificare quelle più efficaci. Oltre ai fattori extraprogettuali fin qui descritti, sono risultati tuttavia molto determinanti per la scelta finale di tre varianti le caratteristiche meccaniche del materiale — ortotropia e linearità fino a rottura — e le possibilità produttive — pultrusione e formatura a mano, assemblaggio —. Questa fase di valutazione è stata svolta anche con il contributo della Fibrenet di Pavia di Udine, produttrice, tra gli altri, di elementi strutturali in polimero fibrorinforzato.

Gli elementi di novità della tesi sono individuabili in particolare nel processo piuttosto che nel prodotto.

Il sistema costruttivo proposto assembla soluzioni esistenti in altri ambiti, integrandole e adattandole ad un contesto, archeologico, completamente diverso da quello per cui sono state pensate. Esso inoltre è pensato per offrire una risposta alle esigenze esprimibili lungo l'intero nuovo "ciclo di vita" del reperto archeologico una volta rimesso in luce, dal momento dello scavo alla fase di disseminazione delle informazioni e di presentazione al pubblico. Gli esiti figurativi e strutturali sono comunque una novità di per sé non rinvenibile nei componenti di base della soluzione, singolarmente considerati.

Infine è nuovo l'approccio metodologico, teso all'applicazione ad un contesto realistico in modo speditivo e diffuso, anche grazie alla proposta di strumenti in grado di implementare intrinsecamente la flessibilità grazie ad un approccio di tipo parametrico e algoritmico piuttosto che di modificazione additiva.

Parte I

Valorizzazione dei siti archeologici. Dalla conoscenza ai criteri di progetto

Capitolo 1

Il sito archeologico. Dalla definizione del valore alla valorizzazione

Un *sito archeologico* manifesta fisicamente il concetto di bene culturale: è una testimonianza materiale, vale a dire tangibile, di diversi aspetti della vita in epoche passate, che riemergono sotto forma di resti di vario tipo — reperti di oggetti mobili e immobili —, che acquista valore di civiltà, ossia è in grado di mostrare all'attuale corpo sociale come fossero costituiti e organizzati quelli precedenti e contemporaneamente di far percepire permanenze e variazioni di determinate strutture sociali attraverso il tempo. La sua azione è pertanto sincronica e diacronica allo stesso tempo.

I ritrovamenti archeologici sono da intendersi come “oggetti materiali” e “oggetti mentali”, poiché sono da un lato oggetti fisici dall'altro il segno di un complesso di idee presenti in un certo luogo e in un certo tempo. Per entrambi gli aspetti sono tuttavia esposti a processi di deterioramento: il degrado fisico e il depauperamento del significato. Essi apportano e insieme contengono i significati, nel senso che la loro capacità comunicativa non è intrinseca e/o fissata, ma è subordinata alla particolare situazione storico-culturale delle generazioni che entrano in contatto con essi (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

L'archeologia, peraltro, ci consegna il senso e la profondità della storia operando mediate tre passaggi distinti ma strettamente collegati: a) la *ricerca*, con l'individuazione delle tracce e la costruzione del dato; b) la *tutela*, con le procedure che ne favoriscono la concezione nel tempo; c) la *valorizzazione*, attraverso il quale ricostruiamo il *nostro* significato delle cose del passato (Manacorda 2007).

Per iniziare lo studio è necessario affrontare i temi e gli oggetti della ricerca archeologica quale si è progressivamente strutturata ed approfondita in forza dei cambiamenti sociali e tecnologici della seconda metà del XX sec. Gli interessi dell'archeologia si sono infatti ampliati, così come i metodi di oggi combinano saperi tecnici ed umanistici.

Nello stesso periodo si è assistito ad un radicale cambiamento anche del ruolo e della percezione degli oggetti che la ricerca archeologica restituisce alla società contemporanea: i “beni” che formano il “patrimonio culturale”. Detto cambiamento, sancito ormai dai documenti internazionali, può in realtà essere considerato la logica conclusione di un progressivo approfondimento e allargamento di quella “questione dei valori” apparsa agli albori della speculazione teorica connessa alla pratica del restauro.

1.1 Gli oggetti della ricerca

1.1.1 Rudere

Il rudere di un monumento è il frammento di un'architettura che ha perso i suoi originali connotati e che ha assunto in questa trasformazione nuovi significati simbolici. È dunque un sistema che perviene dal patrimonio costruito del passato e di cui si cerca di fissare l'immagine della struttura materiale e l'identità nel momento in cui se ne assume coscienza. Il processo di progressiva consunzione del bene può essere rallentato (non arrestato) attraverso un'opera di assidua manutenzione e di corretto uso delle nuove tecnologie (D'Agostino et al. 2009).

I resti possono essere significativi per i materiali, le tecniche costruttive o anche come documento storico sia della costruzione che della distruzione di un manufatto (Conforto in Marino 1989). Il rudere può essere il risultato di uno scavo o far parte dell'immagine consolidata di un sito e in quanto tale è il risultato di un processo; tra i due non può essere stabilita una gerarchia poiché siti poco caratterizzati dal punto di vista monumentale possono essere molto interessanti per quanto riguarda l'aspetto documentale o per l'aspetto dello sviluppo metodologico (D'Agostino et al. 2009). Per G. P. Brogiolo (cit. in Cecchi e Gasparoli 2010) il processo che porta alla formazione del rudere (Fig. 1.1) dopo le vicende di costruzione e di uso-alterazione di una fabbrica si articola in:

fase di abbandono : può essere il riflesso di importanti cambiamenti socio-culturali o economici, come la chiusura dei templi pagani; oppure essere dovuta a eventi traumatici naturali (terremoto, eruzione vulcanica, frana, smottamento o dissesto idrogeologico, bradisisma, subsidenza e ingressione marina) o antropici (incendio, distruzione, assedio); scelte intenzionali collettive (esodi, migrazioni, cambio di sistemi produttivi) o individuali (aggiornamento tecnologico, nuova costruzione);

fase di ruderizzazione che è contrastata dalla robustezza del costruito e accelerata dalla severità del clima (precipitazioni ed escursioni termiche). Una volta che il manto di copertura si è sconnesso, l'acqua fa marcire le travature del tetto; il loro collasso viene accompagnato da piccoli crolli, seguiti dal progressivo sgretolamento e poi dal crollo delle murature. Gli edifici meno solidi, con murature di scarso spessore e con mediocre legante completano rapidamente (parecchi secoli) il processo di ruderizzazione e altrettanto rapidamente raggiungono lo stadio successivo di deposito archeologico sepolto riconoscibile dal microrilievo prodotto dai crolli.

A seconda che l'abbandono sia stato determinato da una scelta intenzionale o da un evento traumatico, il processo di ruderizzazione segue dinamiche differenti. Nel primo caso, il crollo e le demolizioni producono grossi strati di accumulo che si addossano alle porzioni di murature rimaste in alzato formando due «bacini stratigrafici distinti»; nel secondo, i processi erosivi procedono dalle parti alte e dalle superfici esterne e proseguono con crolli progressivi che si accumulano ai piedi del manufatto e vengono colonizzati da piante infestanti. L'intervento umano in queste fasi è finalizzato al recupero di parti pregiate del manufatto (pietre, metalli) alterando i naturali processi stratigrafici di formazione del deposito. Nel lungo periodo, il rudere si troverà inglobato in una stratificazione archeologica sepolta,

frammisto a strati di crollo e di formazione naturale (*humus* prodotto dalla vegetazione, matrici terrose causate dal disfacimento di intonaci e leganti o trasportate dal vento e dall'acqua ecc.).

L'intervento sul rudere comporta la possibilità di sperimentare le più varie soluzioni, da un approccio conservativo ad uno più attivo, fino alla possibilità di applicare le nuove tecnologie che permettono di "intervenire" virtualmente sul rudere, conservandone l'inattingibilità fisica.

Nella visione di Cesare Brandi, formatosi come storico dell'arte, l'aspetto estetico del rudere, inteso come qualità e tipo di percezione dell'oggetto, tende ad essere comunque prevalente su quello storico. La rovina viene riconosciuta durante lo scavo ma poi non se ne può compromettere la spazialità e l'ambientamento, anzi li si deve sfruttare al meglio per trasmettere l'unità perduta ed eventualmente integrarla con questo mezzo laddove è venuta a mancare¹.

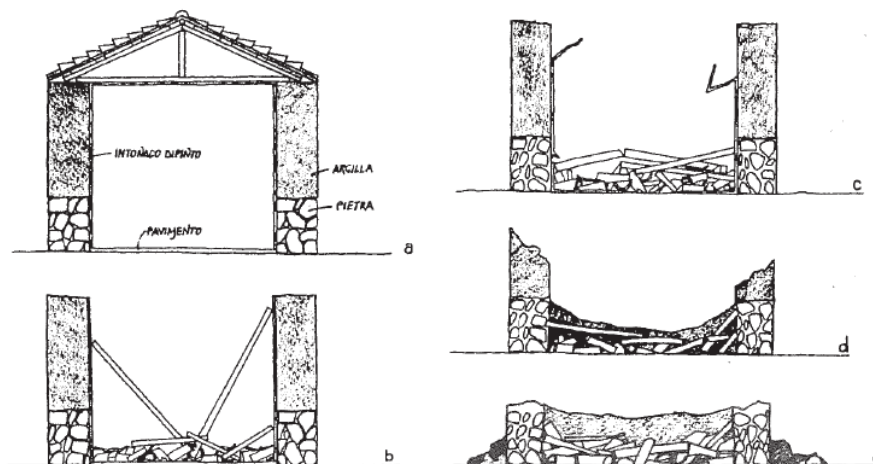


Figura 1.1: Il processo di formazione del rudere (da Carandini 2010)

1.1.2 Tipologie di siti e ritrovamenti archeologici

Già Benvenuto (1994) afferma che il modo con cui si è costruito un edificio ne determina l'identità statica e, aggiungiamo oggi, la risposta sismica.

In linea molto generale, la *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio archeologico* (1992) descrive il patrimonio archeologico come composto da «strutture, costruzioni, gruppi di edifici, siti sviluppati, oggetti mobili, monumenti di altro tipo e il loro contesti, situati sulla terra ferma o sott'acqua».

Liberatore et al. (2003) hanno provato a classificare, con maggior dettaglio, anche da un punto di vista sismico, i beni culturali archeologici posti sulla terra ferma. Si è scelta una prima organizzazione in macrogruppi su base cronologica (monumenti preistorici,

¹Si pensi ai riferimenti rinvenibili nei suoi articoli dedicati all'intervento su Villa del Casale o contro la proposta di anastilosi di certi templi dove si parla dell'«aria» e del «sole» dei luoghi in cui quei resti si trovano immersi e che non sarebbe legittimo alterare.

etruschi, greci e romani) e poi all'interno di questi le singole tipologie edilizie di interesse. I più semplici sono menhir, dolmen e mura ciclopiche di età preistorica di cui rimangono esemplari per lo più al Sud, in Puglia e Sicilia in particolare. Seguono i monumenti etruschi, individuati principalmente in mura e porte urbane e volte a sbalzo a secco impiegate nelle sepolture. La vulnerabilità risiede nell'uso di murature multistrato e di tecniche a secco in zona mediamente sismica (Toscana parti di Emilia, Lazio ed Umbria). La muratura a secco, spesso in mattoni di argilla (si pensi alle mura di Gela) viene impiegata anche nelle zone di influenza greca, dove i resti più rappresentativi sono in genere templi con elementi architettonici fuori terra snelli e poco vincolati (singole colonne, tratti di colonnati ecc.). L'età romana ha lasciato i resti più consistenti anche per effetto dell'uso di murature, in laterizio e opera cementizia, più robuste e compatte di quelle in uso presso le altre culture stanziatesi nell'Italia preromana. Molto maggiore anche è la varietà tipologica degli edifici lasciati da questa cultura: edifici pubblici (terme, sostruzioni, templi, archi trionfali, teatri, anfiteatri) infrastrutture (acquedotti, ponti), edifici residenziali (dalla casa urbana alla villa di campagna) .

Per quanto riferito ad un ambito particolare, le fortezze costiere nel bacino mediterraneo, Zezza (2010) offre una classificazione in rapporto alla collocazione geografica (Fig. 1.2): a) i siti in piano a1) vicino ad ostacoli naturali; a2) su una collina isolata; a3) in costa sovrastante una piana alluvionale; a4) a sbarramento di una vallata; b) per i siti su rilievi costieri b1) su colle isolato; b2) su piccoli promontori; b3) all'ingresso di porti interni; b4) su isole di fronte alla costa.

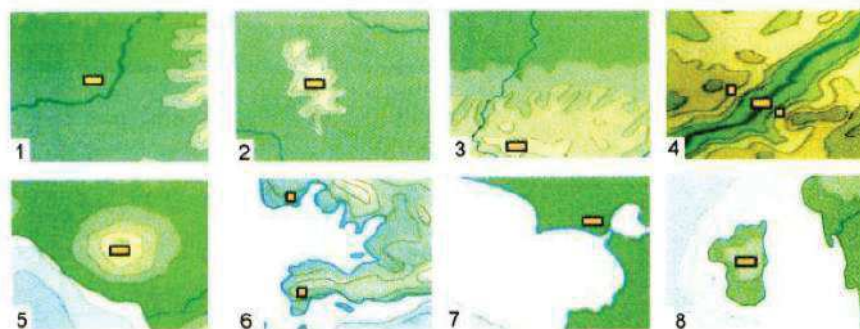


Figura 1.2: Collocazione dei siti costieri (da Zezza 2010)

Ovviamente la configurazione del terreno è determinante nella scelta del sito. Ancora, Zezza sottolinea che il materiale da costruzione impiegato per le murature è, come anche afferma Vitruvio nel I libro del suo trattato, tipicamente quello che si può rinvenire sul posto o nelle immediate vicinanze del sito (pietra tenera, pietra spaccata, ciottoli, mattoni crudi o cotti, terra). Anche il livello e il grado di lavorazione sono da determinarsi in base alla cultura locale, mentre gli elementi decorativi e di rivestimento possono venire di lontano.

Da un punto di vista architettonico il sito può essere un recinto, un frammento, una struttura singola, una città archeologica, e la sua conformazione risultare rilevata rispetto al piano campagna o del tipo ipogeo (Di Muzio 2010b; Pineschi 2007; Stanley Price e Jokilehto 2001). Alla configurazione planimetrica tuttavia si aggiunge anche la configurazione altimetrica del sito, con particolare riferimento alla posizione del piano di frequentazione

antico rispetto al piano campagna attuale e all'altezza delle eventuali murature rinvenute, risultando in una combinazione delle situazioni schematizzate in Fig. 1.3.

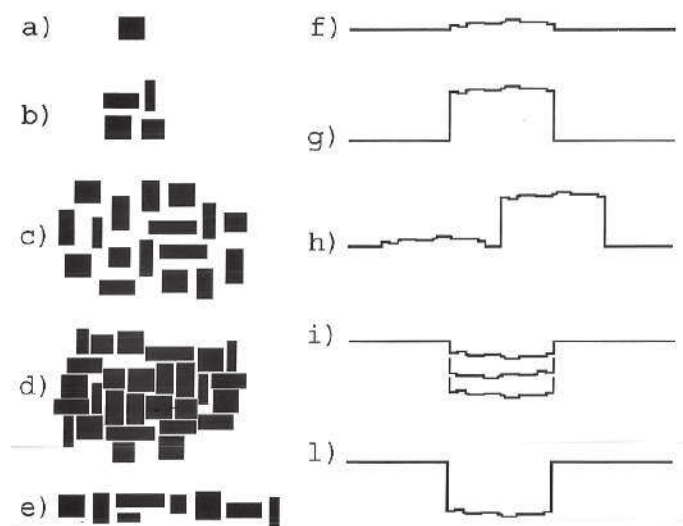


Figura 1.3: Schema delle possibili configurazioni planimetriche e altimetriche del sito: a) puntuale compatto; b) puntuale diffuso; c) esteso diffuso; d) esteso compatto; e) lineare; f) a raso; g) in elevazione; h) misto; i) di scavo/stratigrafia; l) ipogeo (da Di Muzio 2010b)

Frammenti e presenze isolate. Si tratta di ritrovamenti il cui rapporto con un sito archeologico vero e proprio è labile ma il cui valore sta nella capacità di documentare e fornire indizi di occupazione di un certo luogo nel passato (epigrafi, cippi milari e di confine, corredi funebri). L'azione è principalmente di documentazione del sito e di collocazione dei materiali in museo;

Presenze isolate riconducibili a tipologie precise. L'entità e la qualità dei frammenti permettono di immaginare o ipotizzare l'unità originaria degli stessi reperti e la loro funzione oltre a determinarne la categoria e hanno un richiamo con un sistema insediativo più complesso. Si parla di necropoli, edifici di culti, santuari, residenze urbane e/o suburbane, ville ponti;

Complessi monumentali con pluralità tipologiche. Si tratta di brani di tessuto urbano antico ormai defunzionalizzati e decontestualizzati che però hanno una scala maggiore della categoria precedente, poiché ospitavano più funzioni quali isolati urbani, piazze, abbazie, castelli, e dove il palinsesto di trasformazioni si fa di gran lunga più complesso;

Insedimenti urbani. Intere città abbandonate e defunzionalizzate, in cui si rinviene l'intera complessità delle funzioni di un insediamento umano la cui lettura e fruizione possono essere demandate solo alla più complessa trattazione consentita dal "parco archeologico";

Sistemi infrastrutturali a dimensione territoriale. Ci si riferisce a strade, acquedotti, operazioni di bonifica, porti costieri e fluviali che sono frutto dell'ingegneria antica e

hanno contribuito alla formazione del paesaggio antropizzato e culturale che oggi si cerca di tutelare

1.2 Gli strumenti e gli esiti

1.2.1 Scavo archeologico

Lo scavo archeologico può essere definito come una sequenza di operazioni e procedure metodologicamente controllate, volte allo smontaggio e all'indagine analitica di una porzione più o meno estesa della stratificazione naturale e antropica del terreno di un sito archeologico e finalizzate alla raccolta della maggior quantità di dati e di elementi di conoscenza sull'aspetto del sito stesso nel passato, sulle sue fasi di frequentazione e di abbandono e sui diversi aspetti della vita degli uomini che quel sito occuparono, utilizzarono e trasformarono (Zanini 2006).

Lo scavo è un'indagine (virtualmente) irripetibile perché la sua esecuzione comporta la distruzione definitiva della stratificazione indagata e quindi devono essere dispiegati tutti i mezzi, i metodi e le strategie perché da esso possano derivare il massimo dei dati e delle informazioni². Perciò oggi non è più ritenuto l'*unica* l'unica metodologia di indagine, ma il momento centrale della ricerca archeologica nel suo complesso, a valle dell'applicazione di numerose altre tecniche di indagine.

I grandi cambiamenti socio-economici degli anni Cinquanta e Sessanta (cfr. *infra*) hanno apportato significative novità alla stessa disciplina archeologica. Da un lato è mutato l'oggetto della sua ricerca, che non è più il ritrovamento di un oggetto di rilevante contenuto artistico, bensì la ricostruzione di una rete di relazioni umane afferenti al territorio. Dall'altro si sono evoluti i metodi con cui la ricerca viene condotta: lo sterro è diventato lo smontaggio e la ricostruzione della stratigrafia, con l'ausilio di mezzi tecnologici e non solo delle fonti antiche. Il contributo determinante a questi cambiamenti è arrivato dagli studiosi di ambito anglosassone nei due decenni tra il Sessanta e l'Ottanta: proprio del 1977 è l'opera di E. C. Harris che codifica il metodo stratigrafico. L'attuale concezione della ricerca archeologica considera pertanto il bene archeologico come un sistema di *segni* e lo scavo come lo strumento per il riconoscimento della rete di relazioni di cui quei segni sono testimonianza tangibile (Manacorda 2007).

Se il paesaggio diventa stratificazione, risultante fisica delle tracce lasciate sul terreno, in positivo (aggiunta) o in negativo (sottrazione), dalle attività umane e dall'azione degli agenti naturali del passato, lo scavo, adattato alla nuova concezione, diventa stratigrafico, cioè è lo smontaggio controllato e ordinato della stratificazione in ordine inverso rispetto a quello di formazione (Fig. 1.4). Ne consegue una dialettica tra lettura verticale, corrispondente alle variazioni nelle attività tra strati del terreno successivi, e una orizzontale, connessa allo svolgimento spaziale di queste attività in uno stesso momento all'interno del singolo strato dall'altro, del sito (Manacorda 2007; Renfrew e Bahn 1993).

Applicando questa metodologia, è possibile procedere per sondaggi verticali localizzati, evidenziando i rapporti temporali tra le varie fasi, oppure per disseppellimento di ampie

²Infatti il processo di scavo richiede di rimuovere ciascuno strato per mettere in luce quello sottostante in uno smontaggio di fatto definitivo. Pertanto è necessaria una programmazione che permetta di raccogliere e documentare dati che altrimenti andrebbero persi.

aree, al fine di cogliere l'intera estensione del sito nei diversi momenti della sua esistenza. Non è possibile tuttavia stabilire un rapporto diretto tra la superficie scavata e la quantità di dati recuperati, corrispondenti alle attività umane che su quel sito si sono svolte (Zanini 2006).

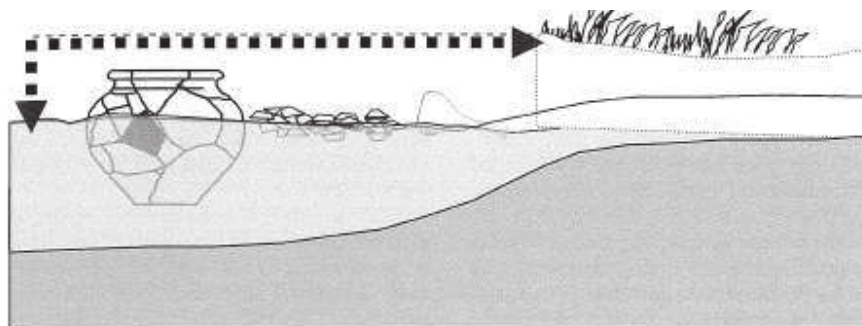


Figura 1.4: Schema delle direzioni di scavo (da Pedeli e Pulga 2002)

Lo scavo è un'operazione complessa perché funziona allo stesso tempo: a) da ricerca scientifica applicata, b) da attività di conoscenza e tutela del patrimonio culturale collettivo, c) da cantiere edile e impresa economico-culturale. Pertanto è richiesto l'intervento di più esperti al fine di individuare un adeguato compromesso tra le diverse esigenze (Fig. 1.5). I due aspetti prevalenti sono quello archeologico, connesso alla capacità di documentare i dati, e quello conservativo, teso ad evitare le alterazioni di materiali di per sé fragili ed instabili. Entrambi vanno tenuti in considerazione nella programmazione dello scavo, avendo riguardo anche per: a) il tipo e la rilevanza del sito; b) la sua dislocazione geografica; c) l'approvvigionamento dei materiali; d) la disponibilità di mezzi economici e del personale; e) i tempi, f) la presenza di diverse professionalità (Pedeli e Pulga 2002). L'obiettivo dello scavo — valorizzazione-fruizione, interrimento, distruzione del sito — va stabilito prima di intraprenderlo perché sono diverse le tecniche e i mezzi di indagine e di documentazione e l'"intensità" del loro uso al fine di minimizzare la perdita di informazioni.

Lo scavo inoltre ha (quasi) sempre un notevole impatto sociale, sia positivo che negativo. Tempi, costi, esigenze dello scavo vanno pertanto posti in relazione con i bilanci, i tempi e le esigenze del territorio e del tessuto sociale che lo ospitano in modo da rendere attivo il saldo tra investimenti e disagi e acquisizione e diffusione di nuove conoscenze. Si può concepire lo scavo come un'occasione di formazione offerta alla società nel suo complesso soddisfacendo diversi livelli di desiderio di conoscenza e partecipazione (Zanini 2006).

La tipologia dell'intervento di scavo si divide funzionalmente in **scavi di emergenza**, quando porzioni significative di stratigrafia archeologica vengono esposte in occasione di cantieri edili; **scavi preventivi**, preliminari alla realizzazione di lavori che comportino uno scavo del terreno e che frequentemente trovano applicazione in ambito urbano, la cui utilità è per certi aspetti limitata tanto dall'estensione del sedime dell'opera da realizzare quanto dai tempi entro cui deve essere eseguito lo scavo; **scavi programmati**, realizzati in siti abbandonati (a non continuità di occupazione) o aree urbane di non immediata trasformazione, in cui gli elementi determinanti nelle scelte da effettuarsi afferiscono alla

natura stessa della stratificazione da indagare e per tale motivo sono spesso condotti da enti di ricerca specializzati.

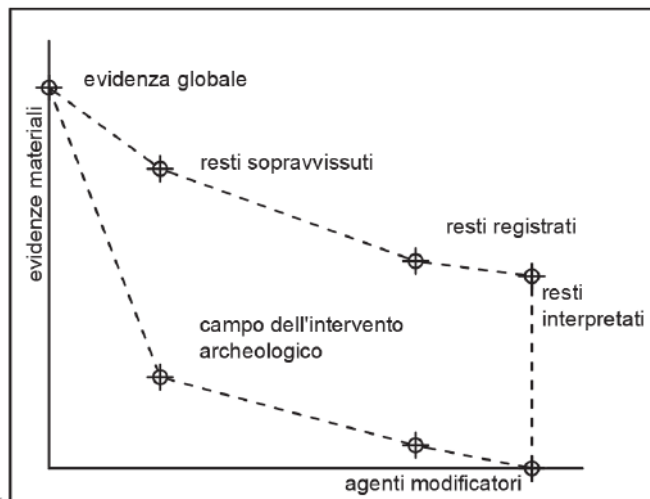


Figura 1.5: Grafico della legge di sopravvivenza delle informazioni archeologiche. I resti interpretati sono sempre minori dell'evidenza globale del sito (da Francovich e Manacorda 1990)

1.2.2 Sito archeologico

Il termine sito viene usato dalla prima metà del Novecento per designare un luogo di interesse archeologico, o, per meglio dire, antiquario, di natura prevalentemente monumentale, con una presenza chiaramente percepibile nel paesaggio: in tale accezione, sono compresi ruderi dell'età romana e greca, tombe preromane, qualche ritrovamento preistorico e praticamente niente del periodo medievale³.

Gli sconvolgimenti del territorio conseguenti allo sviluppo economico e demografico del dopoguerra — abbandono delle campagne, espansione delle periferie urbane, arature più profonde, apertura di cave e discariche, ecc. — affievoliscono la memoria storica dei luoghi e portano alla luce, prima di provocarne la scomparsa, una fitta rete di piccoli siti, più difficili da decifrare rispetto ai grandi complessi monumentali, ma altrettanto ricchi di informazioni. Si richiedono pertanto nuovi metodi di studio e documentazione, presi a larghe mani da altre discipline, per poter registrare un mondo in rapida trasformazione che ormai sfugge agli strumenti tradizionali e allo studio delle fonti (*new archaeology*, Francovich e Manacorda 2006). Proprio l'individuazione di moltissimi nuovi siti, irrilevanti da un punto di vista monumentale ma rilevanti dal punto di vista documentale, altrimenti invisibili mette in crisi il concetto tradizionale di sito. Esso inizia ad espandersi, sino a acquistare l'accezione di una «porzione dello spazio scelta e occupata dall'uomo nello svolgere intenzionalmente una o più attività e identificabile grazie alla presenza di tracce archeologiche», cioè un luogo dove si è manifestata l'esperienza umana, all'interno di uno spazio più ampio che la contiene (Manacorda 2007).

³Alcuni notano l'analogia tra "bene culturale" e l'espressione "sito archeologico" entrambi composte da due concetti.

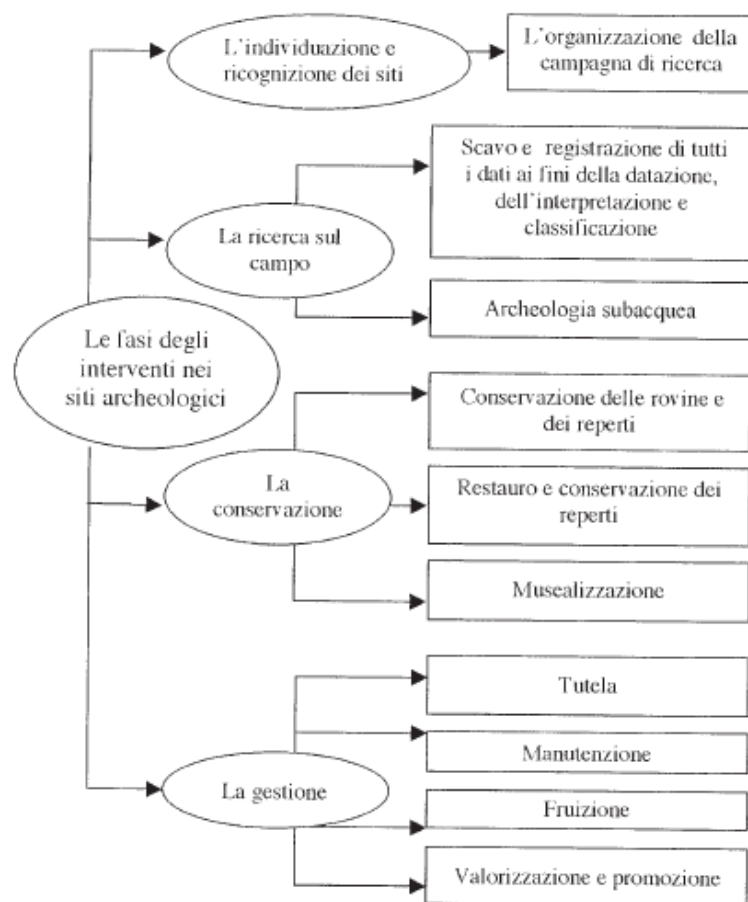


Figura 1.6: Schema degli interventi sui beni archeologici (da Lanzarone 2004)

La dispersione nel territorio anche di minuti frammenti di interesse archeologico, appunto *tracce*, ha anche portato alla concezione del “paesaggio culturale”, poiché non è possibile pensare il sito in modo isolato dal contesto, umano e ambientale, in cui si è espressa la sua esistenza (ottenimento di materie prime, scambi commerciali e culturali ecc.) (Agnew e Brigland 2006; Francovich e Manacorda 1990; Manacorda 2007).

L'applicazione massiccia dei nuovi metodi di studio a partire dagli anni Settanta ha rafforzato una concezione di sito quale unità elementare di documentazione dei resti archeologici che appaiono in superficie, in analogia con la funzione dello strato nello scavo e con il suo riconoscimento empirico, e ha spinto alcuni studiosi a cercare di delimitare il sito sulla base di un criterio quantitativo, secondo un certo numero di reperti per unità di superficie. Quasi subito peraltro è apparsa chiara l'arbitrarietà di simili valutazioni (Fig. 1.6). Al contrario, un paesaggio sentito come un continuo di tracce della rete di relazioni umane, a maglie più o meno larghe, ha suggerito una definizione di sito in termini di densità, come una concentrazione anomala rispetto ad una media di fondo: anche materiali sparsi superficiali (reperti sporadici) possono essere di interesse dell'archeologo, per quanto non facciano parte di un sito ma di un non-sito (*off site*) perché il reperto non corrisponde ad una realtà umana nel suolo; anche in questo caso si deve ricorrere tuttavia ad un discrimine quantitativo. Una soluzione, negli anni Duemila, è sembrata è

quella di raccogliere i manufatti presenti nel paesaggio, senza distinguere tra siti e non-siti, rimandando la decisione ad una fase successiva, ma anche in questo caso l'incidenza dei fattori di disturbo (vegetazione, alluvioni, erosione e la stessa ineliminabile soggettività) può essere significativa e distorcere l'immagine della popolazione originale (Manacorda 2007).

Più recentemente si è ritornati allo studio delle tracce, lette come reciproca interazione tra natura e cultura, segni "locali" — sempre che siano sufficientemente consistenti per dare le informazioni che interessano allo studioso —, lasciati nel paesaggio e influenze che questi esercitano sull'insediamento antico. Ogni sito è delimitato e delimitabile ma non è "isolato": il sito si ha dove la qualità-quantità delle tracce riscontrabili con i metodi dell'archeologia possono essere messe in relazione con altre presenze, le quali, tracce e relazioni insieme, contribuiscono a caratterizzare il territorio in cui si inseriscono e gli conferiscono una fisionomia storicamente significativa. Non bastano tuttavia le tracce per fare un sito, e per questo la definizione di sito usata negli anni Sessanta ormai sembra inadeguata per la mancata considerazione della dimensione tempo.

La rete spaziale delle tracce archeologiche si svolge e si modifica nel tempo, ed è proprio il tempo a darne il senso, poiché ogni sito è il prodotto del tempo che lo ha visto funzionare e del tempo del suo successivo decadimento, leggibili nell'unico libro della stratigrafia. Il valore risiede in quella storia ma anche nelle vicende che essa ha attraversato per arrivare sino a noi, la quale rende tali siti, anche se tipologicamente simili, affatto diversi (Manacorda 2007). In questa particolare lettura, il sito è definito come la «porzione tridimensionale di spazio che rechi con sé i segni del tempo, cioè della quarta dimensione che lo ha plasmato, ora con apporti ora con sottrazioni della materia. La sua dimensione archeologica consiste nel fatto che ogni luogo dove la storia si sia depositata sotto forma di stratificazione può essere analizzato ripercorrendo a ritroso le tappe segnate dalla successione degli eventi».

D'altra parte il fattore tempo è determinante anche per la vita di un "sito" in quanto "sito archeologico": il deposito, l'insieme di tracce, una volta scavato o individuato nel territorio inizia una nuova vita come documento che viene creato, alterato e ricreato secondo nuovi significati e nuove interpretazioni. Diventa uno spazio molto particolare: nato nel passato, è comprensibile solo nel presente, che riesce a vedere un valore anche nel frammento perché lo interpreta come una traccia di un sistema più esteso, ma è proteso verso il futuro, al quale si cerca di tramandare questo pezzo di passato, fissandone il cui significato, nel divenire tanto della cultura quanto delle interpretazioni che di esso si cerca di dare (Agnew e Brigland 2006; Francovich e Manacorda 1990). In questo senso il sito dà indicazioni per il progetto del presente in termini di conservazione, tutela e trasformabilità del territorio, per evitare la perdita di ciò che non si conosce ancora e per garantire una trasformazione compatibile in considerazione di un'analisi condivisa del valore dei resti (Manacorda 2007). La disciplina dell'archeologia urbana è concepibile solo grazie a questa rete di rapporti: essa cerca i punti di contatto tra lo spazio del passato e lo spazio del presente fornendo indicazioni per il progetto dello spazio urbano, e quindi del suo futuro. Alla luce dell'ampliamento del concetto, anche l'elenco degli oggetti del ritrovamento archeologico si è allungato (Cecchi e Gasparoli 2010):

- Grotte, cavità, gallerie, miniere;
- Dolmen, menhir, castellieri;

- Fortificazioni (urbane e nel territorio);
- Infrastrutture (strade, acquedotti e castelli d'acqua, fogne e sistemi di deflusso delle acque superficiali ecc);
- Vasche, piscine;
- Luoghi di spettacolo (teatri, anfiteatri, circhi);
- Terme;
- Templi;
- Colonne celebrative, archi di trionfo;
- Edifici pubblici e *collegia*;
- Residenze private (domus, columbaria, palazzi);
- Magazzini, depositi e altre opere utilitarie;
- Tombe monumentali, mausolei;
- Borghi abbandonati e ridotti allo stato ruderale;
- Impianti produttivi con forza motrice idraulica (mulini, forge, cartiere, impianti di irrigazione);
- Impianti produttivi basati sull'uso del fuoco (calchere, forni, altoforni);
- Impianti di archeologia industriale a forza motrice elettrica o con motore a scoppio;

1.2.3 Parco archeologico

Il generale ampliamento della prospettiva storica dell'archeologia, sia verso epoche precedenti o successive all'età greco-romana sia verso culture extra-europee, la maggiore attenzione verso un pubblico non specialistico ma oggetto di un più specifico coinvolgimento, infine lo sviluppo di una maggiore sensibilità ambientale hanno portato a partire dagli anni '80 all'istituzione di numerosi parchi archeologici. L'idea risale comunque ai due decenni precedenti, quando si vedeva in questo istituto un modo per limitare l'aggressione da parte dello sviluppo edilizio di siti archeologici collocati in area originariamente suburbana e venuti a trovarsi all'interno dei nuovi quartieri di espansione, senza che fosse curata la relazione del sito con il nuovo spazio urbano né che venissero tutelati il paesaggio o eventuali altri resti non scavati, nell'insufficienza della tutela puntuale (Amendolea 1988; Amendolea et al. 1995).

In epoca più recente il parco archeologico-ambientale ha acquisito, almeno in Italia, sempre più una connotazione di "rete" di evidenze o di siti, di idea di base per il recupero e la rivitalizzazione di aree anche relativamente vaste, caratterizzate da un rapporto storico tra uomo e ambiente (Manacorda 2007) che si era fatto vieppiù labile a causa dell'abbandono o dello spopolamento. La creazione di tali reti è stata anche promossa dai documenti internazionali.

La creazione o la ricreazione di collegamenti tra siti nel territorio va dunque letta anche come modalità per favorire la comprensione e la trasmissione dei risultati della ricerca al pubblico, poiché molti siti riacquistano il senso proprio per effetto del reinserimento nella rete di relazioni di cui erano parte in origine. Questo peraltro già accade per i siti

culturali inseriti nei circuiti delle vie di pellegrinaggio o di commercio, del ricordo di un avvenimento storico, di una leggenda o di un libro, solo per citarne alcuni: si parla di "itinerari o paesaggi culturali", "siti associativi" e "luoghi di memoria" (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

Uscendo dall'ambito italiano, dove sarebbero facilmente derubricate a "ingiustificate ricostruzioni", soprattutto se di siti d'età romana, il parco archeologico assume negli altri Paesi europei l'aspetto di una "macchina del tempo" con ricostruzioni a scala reale di interi edifici che servono da fondale a rappresentazioni della vita quotidiana del passato con figuranti in costume a beneficio della comprensione del visitatore. Così accade spesso in Germania (Xanten), Francia (Cassinomagus) e Inghilterra (Fig. 1.7). Maggiori sono invece le possibilità relative alla ricostruzione di siti preistorici (capanne, palafitte), le cui tracce sono di solito assai labili. In questi casi si sottolinea l'importanza della fusione delle diverse esperienze in una progettazione che tenga conto il più possibile della complessità dei fenomeni analizzati (Zifferero 2006).

1.3 La moderna nozione di bene culturale

Per quanto l'oggetto possa essere protetto, conservato e interpretato, il significato da attribuirgli varia in funzione dell'osservatore: c'è chi si concentra sui valori estetici, chi su quelli associativi, chi è ancora legato al tradizionale concetto di monumento⁴. Esiste sempre, nel pubblico ma anche nella stessa legislazione in materia di patrimonio culturale, una dualità tra il monumento, prova del genio creativo universale dell'uomo, e la traccia, testimonianza della sua vita quotidiana. Tale dicotomia è presente anche nelle Carte e nei Documenti internazionali (UNESCO, ICOMOS). Il monumento, isolato e carico dei propri significati, è fatto per durare nei secoli, al contrario della traccia, oggetto archeologico nella sua materialità e nel suo contesto, la cui sopravvivenza è di fatto fortuita. Tuttavia entrambi sono degni di uguale attenzione, poiché sono il risultato di un'irripetibile sequenza di avvenimenti che sono avvenuti in un certo ambiente e, come tali, sono partecipi con pari diritti della storia. I siti archeologici sono spesso associati a monumenti, i quali possono essere intesi come tracce in cui la materialità acquisisce un'importanza tale da essere prevalente e immediata la sua considerazione nell'osservatore, ma più spesso essi forniscono documenti, tracce cioè della vita del passato, che possono suscitare del pari l'interesse di un osservatore moderno (Joyce 2006).

Esiste pertanto un problema di valorizzazione, cioè di trasmissione socialmente utile del significato del bene culturale, già *in nuce* al momento della formulazione del giudizio di valore, non come premessa ma complemento all'azione di tutela.

Non è possibile documentare con lo stesso grado di dettaglio tutti i materiali rinvenuti o rinvenibili nel contesto e pertanto è necessario fare delle scelte: alcune cose possono essere ben scavate e perciò conosciute, altre potranno solo essere campionate, altre ancora dovranno essere trascurate: allora, specialmente in questo caso, dev'essere ben chiaro il giudizio di valore dato ai resti. Tale valore non deve essere connesso al solo valore

⁴Si noti bene che questo è il punto di vista anglosassone, poiché per un italiano è accertato che qualsiasi ragionamento in materia si può fondare quasi esclusivamente sul valore storico del bene, cfr. Manacorda (2007).

storico, basato sull'eccezionalità del ritrovamento o sulla presenza di un sistema di fonti che ne chiarisce il significato, ma deve richiamare anche altri valori, tra cui soprattutto quello "estetico", che possono essere di più immediata comprensibilità per il pubblico. Il valore storico non è infatti di immediata comunicazione e comprensione, e richiede una consapevolezza culturale che non corrisponde necessariamente ad una consapevolezza sociale, la quale invece è più sensibile agli aspetti comunicativi che sono appunto più legati alle qualità formali (Manacorda 2007).

Il preliminare riconoscimento di un principio di valore nell'oggetto, al di là di quello materiale o dei contenuti educativi che esso può avere, è condizione necessaria per ogni ulteriore riflessione sul bene culturale, sito archeologico, edificio, arredo o opera d'arte che sia.

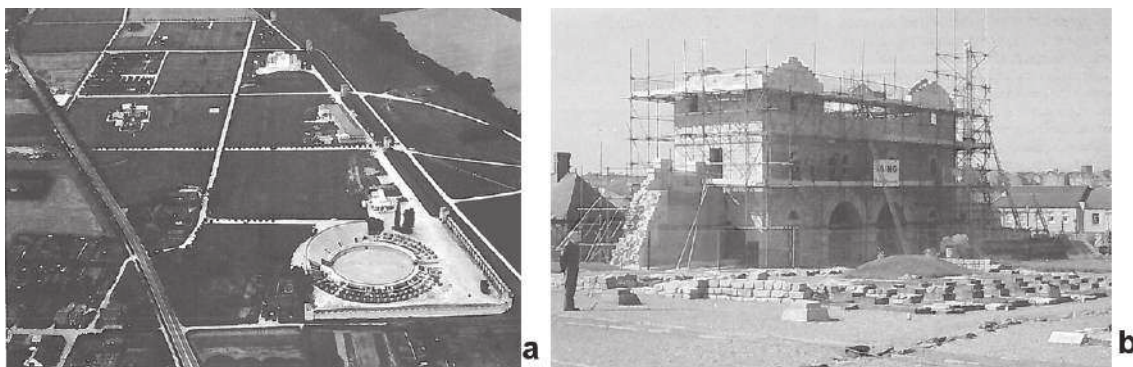


Figura 1.7: Parchi archeologici con ricostruzioni a scala reale: a) Colonia Ulpia Traiana a Xanten (D); b) forte romano a South Shield (GB) (da Amendolea 1988)

1.3.1 La conquista del valore

Testimonianze del rapporto dell'uomo col proprio passato si hanno già nell'antica Grecia, ma è a partire dalla fine dell'Ottocento che di questo rapporto si è avuta una riflessione critica e filosofica⁵. In Francia nel Settecento si compie il passo verso la comprensione di significati estesi oltre l'oggetto, ma non riconducibili al contenuto intrinseco, sacrale o artistico, e dunque dovuti a coscienti attribuzioni esterne, quando al monumento si riconosce anche il ruolo di documento, cioè non solo di monito o testimonianza di un certo evento storico ma oggetto in grado di fornire informazioni sulla civiltà che lo ha prodotto. Nel corso dell'Ottocento il divario tra l'apprezzamento dell'oggetto per il suo aspetto storico o per la sua fruizione estetica si accentua, trovando rispettivamente massima espressione nei restauri stilistici di Viollet-Le-Duc e nell'*Anti-restoration movement* ispirato da Ruskin⁶.

Quando anche gli ultimi focolai della "battaglia degli stili" ottocentesca sembrano essere domati, Alois Riegl ad inizio Novecento cerca di riconciliare i due approcci alla «scienza della conservazione», riconoscendole anzitutto una propria autonomia dalla storia dell'arte

⁵Il percorso evolutivo del rapporto tra gli oggetti del passato e le epoche successive è ampiamente esposto in (Vlad Borrelli 2003, 2010) e nella prima parte di (Tosco 2014); per le vicende più recenti cfr. la sintesi, anche se un poco datata, riportata da Gurrieri (1987).

⁶L'argomento è complesso e esula sicuramente dagli stretti limiti di richiamo e inquadramento che qui ci si deve porre. Tra i tanti testi, si rimanda a Carbonara 1997.

e anche dall'architettura. Le sue riflessioni si concentrano su quelli che egli chiama i *valori* presenti nell'oggetto, distinti in vetustà, storicità, novità e uso, posti in reciproco confronto dialettico⁷. Nel periodo dell'affermazione degli stati nazionali sono in particolare i primi due ad essere utilizzati per formare il nucleo di quella sfera di sentimenti, definibili come una sorta di "religione civile", che rende apprezzabili tali oggetti anche da parte di strati di popolazione più ampi di quelli specialistici (Tosco 2014).

In Italia l'apprezzamento dell'oggetto dipende principalmente dal suo contenuto "artistico" ed estetico, di stampo idealistico, e dal riferimento al glorioso passato nazionale: si parla dunque di "antichità", "belle arti", "bellezze", termini che vengono impiegati anche nei primi due provvedimenti organici in materia di beni culturali, la l. 1089 relativa alla "Tutela delle cose d'interesse artistico e storico" e la l. 1497 sulla "Protezione delle bellezze naturali", entrambe del 1939.

1.4 Dalle "cose di interesse artistico" al "bene culturale"

1.4.1 Una impossibile definizione

Anche in Italia i monumenti divengono un mezzo dei tanti per «fare gli italiani», posto sotto la cura un organo a carattere centralistico. Del patrimonio artistico nazionale non era ancora del tutto chiara l'entità ma era ben nota l'esposizione alle spoliazioni per il mercato collezionistico, soprattutto dopo la soppressione di molti enti religiosi (Tosco 2014)⁸. La stessa denominazione di quest'emanazione del ministero della Pubblica Istruzione, Direzione generale delle Antichità e delle Belle Arti (1875), rende evidente l'ispirazione sostanzialmente dotta ed elitaria, rispetto a quella documentaristica di prassi negli altri Paesi europei, riconducibile a schemi di pensiero di stampo idealistico a cui si rifanno i primi due provvedimenti organici in materia di tutela dei monumenti, le già citate leggi del '39. Le espressioni di "monumento" e di "antichità e belle arti", applicate quasi esclusivamente ai beni immobili pur potendo riferirsi anche a quelli mobili, vengono percepite come ristrette già agli inizi degli anni Cinquanta, quando compare la locuzione di "cose d'arte" in Italia e a livello internazionale l'espressione *cultural property* coniata da l'UNESCO nella (UNESCO 1954) per riferirsi beni singoli o a complessi, mobili e immobili, di natura e consistenza molto diverse, tanto di proprietà pubblica che privata⁹. Alla luce dei cambiamenti avvenuti nella società e nel territorio italiani dopo la guerra,

⁷Il culto moderno dei monumenti è del 1903 è alla base del sistema di tutela dei monumenti dell'Austria-Ungheria approntato dallo stesso Riegl in quel periodo.

⁸In Italia, le altre occasioni di riflessione sul monumento, anche se più dal punto di vista della prassi del cantiere, e quindi piuttosto sul tema del restauro/conservazione sono legate ai lavori di Boito, d'Andrade, Beltrami e Giovannoni, solo per citare i nomi più famosi.

⁹L'espressione è di M. Grisolia in «La tutela delle cose d'arte» in *Il foro Italiano* VIII, 1952; per il cambio di sensibilità, cfr. Rota 2002, pp. 106 e 141 e Tosco 2014, p. 61. La Convenzione de L'Aja, si riferisce a «movable or immovable property of great importance to the cultural heritage of every people, such as monuments of architecture, art or history, whether religious or secular; archaeological sites; groups of buildings which, as a whole, are of historical or artistic interest; works of art; manuscripts, books and other objects of artistic, historical or archaeological interest; as well as scientific collections and important collections of books or archives or of reproductions of the property defined above; [...] museums, large libraries and depositories of archives, and refuges; [...] centers containing a large amount of cultural property [or] 'centers containing monuments'».

anche queste definizioni diventano rapidamente inadeguate e si sente l'esigenza di un ripensamento complessivo della materia, per aggiornarne gli schemi teorici e per rinnovare un sistema di tutela ritenuto ormai arretrato¹⁰. Viene nominata nel 1964 una commissione di inchiesta parlamentare, la "Per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio", comunemente nota come Commissione Franceschini, che pubblica i propri risultati nei tre volumi intitolati *Per la salvezza dei beni culturali in Italia*. È proprio la Commissione a ridefinire l'oggetto di tutela, quale un bene che costituisca *testimonianza materiale avente valore di civiltà* e ad adottare la locuzione di *bene culturale*, in sostituzione delle "cose" della normativa dell'epoca. Con questa espressione si rinuncia da un lato al giudizio formulato sul maggiore o minore contenuto artistico del bene, e dall'altro alla preminenza attribuita alla materialità degli oggetti tutelati. La dignità del bene deriva allora dal suo essere espressione tangibile di un certo momento dell'attività umana, la quale acquista significato dal suo essere espressione di una civiltà. In modo analogo viene introdotto il concetto di bene culturale nella sua variante ambientale, quale porzione del territorio in cui l'attività dell'uomo interagisce con quella naturale, risultando in un insieme che, ancora una volta, è testimonianza di una certa civilizzazione. È questa un'accezione che differisce notevolmente da quanto contenuto nella legge 1497/39 in cui al paesaggio ci si riferiva ancora come ad una cosa o in modo romantico, alla stregua di un panorama o di uno scorcio suggestivo¹¹.

La locuzione all'epoca della sua proposta ha incontrato approvazione proprio per la sua capacità di cogliere i due punti fondamentali del discorso: la qualità di oggetto o proprietà (bene) e le sue connotazioni intellettuali e spirituali (cultura) (Rota 2002)), anche se in seguito il termine "bene" è stato ritenuto improprio, in quanto troppo legato all'aspetto economico-materiale della questione¹².

È proprio il ruolo attribuito all'esperienza dell'uomo, nella forma allargata di cultura, insita nell'oggetto che permette di estendere i confini del patrimonio, in termini di numerosità e di complessità, ed è alla base dell'attuazione concezione del bene culturale (Di Stefano 1972; Tosco 2014)). L'estensione a beni completamente immateriali sarà comunque una conquista successiva, poiché in questo periodo ancora non si prescinde dalla fisicità dell'oggetto. La componente immateriale presente nella definizione della Commissione consente di individuare una realtà aperta, alla quale in molti e in vari modi possono contribuire, e i singoli contributi sono variabili anche nel tempo, secondo i cambiamenti della società che quei beni decide di conservare. Anche per tale motivo, nella *Dichiarazione di principio* del documento della Commissione si legge che i beni storici, archeologici, artistici e paesaggistici costituiscono patrimonio dell'umanità intera e pertanto il singolo deve considerarsi depositario e responsabile rispetto alla società tutta della trasmissione di esso alle generazioni future. Il cambio di sensibilità, che vede sia l'apertura verso realtà immateriali o non eclatanti ritenute passibili di protezione, sia l'accettazione di diversi

¹⁰Ciò accadrà tuttavia solo con i provvedimenti del 2004 dopo qualche decennio di continua emergenza, basti pensare alla cd. Legge Galasso.

¹¹Per un approfondimento sulla legislazione italiana in materia di beni culturali, cfr. Lanzarone 2004, pp. 55-86.

¹²Il quale tuttavia legittimamente esiste nel concetto. D'altra parte nell'uso corrente, la locuzione, a partire dalle premesse critico-filosofiche, assume tutta una serie di declinazioni e implicazioni, secondo il contesto di volta in volta normativo, istituzionale, giornalistico ecc. Relativamente ai temi dello sfruttamento economico dei beni culturali in rapporto al loro *uso* (inteso questo in senso compatibile e sostenibile) si rimanda a (Palumbo 2006).

modi di vedere uno stesso oggetto, si registra negli stessi anni Sessanta nel documento noto come *Carta di Venezia*¹³. In particolare all'art. 1 la *Carta* pur usando l'etichetta di «monumento storico», comprende in esso non solo il “monumento” comunemente inteso, ma anche i prodotti di una certa civiltà che ne testimoniano i passaggi salienti, o quelle opere minori che più in generale ne sono espressione. Rimangono così individuati i due nuclei concettuali della materialità dell'oggetto, dal momento che è nella materia che si conserva la storia che esso ha attraversato e quindi non è legittimamente alterabile/removibile, e dell'appartenenza dell'oggetto ad un specifico ambito sociale ovvero ad un dato momento del suo percorso. Essa inoltre riconosce la responsabilità collettiva nei confronti di un patrimonio comune, pur fondando tale impegno sulla sua autenticità. Nei documenti degli organismi internazionali, come nella *Recommendation concerning the Safeguarding of Beauty and Character of Landscapes and Sites* (1962) si parla ancora della «bellezza e del carattere dei paesaggi e dei siti» che presentino un «interesse estetico o culturale» in vista della loro «conservazione e, quando possibile, del [loro] restauro» (art. 1). Tuttavia viene data importanza all'opera dell'uomo in senso lato, poiché rientrano nei paesaggi tutelati dal documento anche i centri storici, non solo in qualità di contenitori di monumenti ma in quanto portatori di una certa «atmosfera», pur se valutata secondo un criterio ancora prevalentemente estetico (artt. 5 e 7).

1.4.2 Tendenze recenti

Un primo ampliamento del concetto di bene culturale è dovuto alla volontà di preservare l'interazione tra oggetto da salvaguardare in sé e ambiente in cui esso è inserito. La sostanziale identità tra *cultural heritage* e *natural heritage* viene sancita nel 1972 dall'UNESCO nella *Recommendation Concerning the Protection at National Level of the Cultural and Natural Heritage* che riconosce valore anche a quei complessi "minori" per effetto del passaggio del tempo (art. III.5). La raccomandazione sottolinea l'importanza dell'efficacia della presentazione, traducibile in una esposizione in sito, della manutenzione e della continuità d'uso (compatibile) i fini della conservazione materiale e del ruolo sociale del bene.

Nella seconda metà degli anni Settanta le *Recommendation Concerning the Safeguarding and Contemporary Role of Historic Areas* (1976) e la *Carta europea del patrimonio architettonico* (1975) confermano il ruolo effettivamente svolto dai siti storici nella definizione dell'ambiente in cui le persone vivono, riconoscendo il loro valore appunto nella dimensione umana di questo rapporto. Si afferma inoltre che ogni sito storico-culturale forma un tutto unitario con l'ambiente circostante e che, entrambi, rappresentano una risorsa non rinnovabile.

La storia recente, grazie al contributo principalmente dei Paesi anglosassoni e dell'affacciarsi sulla scena internazionale di nazioni lontane dagli schemi e dal modo di sentire europeo, ha molto lavorato su queste innovazioni, in particolare sul concetto di cultura e sul dualismo tra aspetto fisico e immateriale di quanto arriva dal passato, giocando con le parole “patrimonio” o “eredità”. Così la definizione di “patrimonio culturale” nella *Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society* (2005) è «un insieme di risorse ereditate dal passato che le popolazioni identificano, indipendentemente da chi ne

¹³Carta di Venezia è il nome italiano della *The International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites*. Il documento si sofferma anche sugli aspetti generali e sulle procedure del restauro ma qui per il momento interessano solo i principi.

detenga la proprietà, come riflesso ed espressione dei loro valori, credenze, conoscenze e tradizioni in continua evoluzione». In una simile ottica l'uomo, in quanto cittadino e non solo in quanto tecnico o esperto, può e deve sentirsi coinvolto e partecipe in prima persona nella responsabilità del mantenimento e della trasmissione del patrimonio (Tosco 2014; Volpe 2016).

Su questa linea, del passato quale eredità da ricevere, far propria e trasmettere al futuro, si collocano altri documenti europei ed internazionali *Convenzione europea del Paesaggio*; *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio archeologico*; *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale*; *Convenzione sulla protezione e la promozione della diversità delle espressioni culturali*, in contrasto con l'ordinamento italiano (Volpe 2016) che mantiene un'impostazione più orientata all'aspetto materiale. In modo analogo l'Italia conserva, almeno a livello normativo, la separazione tra bene culturale e paesaggio e di quest'ultimo in particolare prevale ancora la nozione di "veduta" o "bellezza" più che di "paesaggio culturale" come accade nei Paesi settentrionali (Ulisse 2009).

Ampliando ancora la visione, si riscontra il passaggio da una concezione eurocentrica nella conservazione, in cui l'oggetto e la sua autenticità materica costituiscono il motivo di fondo di ogni riflessione, ad una effettivamente globale, in cui anche i luoghi e i processi possono assumere un significato, è segnato dal *The Nara Document on Authenticity* (1994) e la *The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance* (1999) (Vlad Borrelli 2010). La nuova accezione compare già nel titolo della Carta di Burra quando fa riferimento in senso lato ai «luoghi di significato culturale», dove il "significato" risiede nell'ampia casistica di valori che possono essere rinvenuti nel luogo, nel contesto, nei costituenti materiali di entrambi (in inglese *fabric*), nell'uso, nell'ambientazione, nei ricordi e nelle associazioni mentali, oggetti e luoghi correlati (art. 1). È chiaro come questa definizione cerchi di cogliere anche i significati più sottili che possono essere riconosciuti e/o attribuiti ad un certo luogo dal quale non è mai lecita la rimozione del bene salvo che per superiori esigenze di sopravvivenza materiale.

Il considerevole aumento di quanto può essere riconosciuto come bene culturale ha richiesto come ovvio di fissare alcuni punti fermi attorno ai quali articolare il nuovo discorso. Si è ritornati pertanto sui temi dei valori attribuibili al bene, legandolo ad esempio alla percezione della differenza tra passato e presente e all'attualità più in generale del significato del passato nel present, come accade nella *New Zealand Charter for the Conservation of Places of Cultural Heritage Value* (2010).

Con particolare riferimento ai ritrovamenti archeologici, il primo documento ad essi dedicato esplicitamente è la *Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage* del 1990. «Ogni vestigia dell'esistenza umana» è legittimata a rientrare nel patrimonio poiché l'elemento distintivo è dato solo dall'applicazione dei metodi archeologici nel percorso della sua conoscenza. La protezione dei reperti e dei siti è responsabilità delle popolazioni «indigene» in primo luogo, ma più in generale è «obbligo morale» di ogni persona nei confronti di quanto rappresenta la memoria dell'intera collettività (artt. 2 e 3). I reperti archeologici sono equiparati alle risorse ambientali e, al pari di queste, ne viene riconosciuta la non-rinnovabilità, motivando così l'esigenza di programmi di ricerca il più possibile ampi e approfonditi al fine di chiarire l'entità del patrimonio noto ma soprattutto di quello ancora da scavare di cui si deve garantire la salvaguardia (artt. 4-5).

Alla duplice natura del patrimonio archeologico, quale memoria della comunità specifica alla quale si riferiscono i resti (se ancora esistente) e più generale dell'intera umanità,

anche se all'interno della cornice europea, si riferisce infine la *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio archeologico* del 1992 quando usa l'espressione «memoria collettiva». Il "sito" comprende i materiali rinvenuti e anche il loro contesto (art. 1) e, trattandosi di un oggetto che può essere conosciuto solo per mezzo di un atto distruttivo (lo scavo), va adeguatamente protetto, sia passivamente, mediante inventari, parchi e aree di rispetto (art. 4), sia attivamente, mediante la *conservazione integrata*, cioè il mantenimento dei materiali in sito accompagnato dalla realizzazione di opere finalizzate alla protezione e alla presentazione, che si integrino nel complesso cdi strategie di sviluppo e valorizzazione dell'intero territorio (art. 5).

Il principio unificante dei nuovi principi sta nello spostamento del discorso dal mondo degli oggetti a quello astratto della cultura, riformulando il patrimonio culturale non come un accumulo di cose (o prodotti) ma come un insieme di idee (o processi), o, ancora meglio, come un insieme di idee espresse attraverso oggetti nell'impossibilità di scindere i due aspetti (Luxen 2003). Quello che entra a far parte di tale patrimonio deve essere coscientemente scelto e definito da un determinato gruppo sociale che ne riconosce la rappresentatività per sé stessa sulla base di criteri condivisi all'interno di quel gruppo e sceglie anche di gestirlo come afferma la Carta di Cracovia. Sulla scorta di tale posizione, come anche certe affermazioni contenute nell'ultima carta citata possono far pensare, Avrami et al. (2010) si spingono all'impossibilità di fissare l'oggetto in sé, in quanto dipendente anzitutto da *chi* e *quando* vien fatto il riconoscimento: la soluzione è offerta dall'esistenza di fatto di qualità universali condivisibili¹⁴. Di converso è possibile riconoscere qualità universali intrinseche negli oggetti tutelati che permettono di andare oltre quella che i documenti su esposti fanno sembrare come una "costruzione sociale" di sapore postmoderno

1.5 Una questione di valori

La ricerca archeologica comporta responsabilità a partire dal riconoscimento del sito, passando per l'individuazione dei tempi e della strategia corretti per l'indagine al fine di raccogliere i dati e approdando ai processi di valorizzazione (comprensione, presentazione, trasmissione del significato) del sito, in cui le informazioni raccolte ritornano al pubblico (Carver 2003). Sostanzialmente è ricerca scientifica quasi pura, guidata solo dalla procedura e non è un semplice disseppellimento. Essa si articola in 1) riconoscimento (trovare il sito); 2) valutazione (riconoscergli un valore, cioè un interesse); 3) individuazione di una strategia (programma di ricerca e conservazione); 4) programmazione (scavo e documentazione); 5) analisi (assemblaggio, cronologia ecc.); 6) intervento (valorizzazione, conservazione rinterro ecc. Fig. 1.8).

La decisione di lasciare aperto lo scavo e ancor di più di proteggerlo mediante qualche struttura dipendono dall'insieme di fattori gestionali, conservativi e interpretativi ma

¹⁴Avrami et al. (2010) parlano di beni culturali come di "costruzione sociale", così come la Carta di Cracovia afferma che «*This heritage cannot be defined in a fixed way. One can only define the way in which the heritage may be identified. Plurality in society entails a great diversity in heritage concepts as conceived by the entire community; therefore the tools and methods developed for appropriate preservation should be adapted to the evolving situations, which are subject to a process of continual change*».

soprattutto dalla reale possibilità del sito di trasmettere informazioni alla cittadinanza (Aslan et al. 2018).

Già la Carta di Venezia faceva riferimento al riconoscimento del "significato culturale" ma è solo con la Carta di Burra che il riconoscimento dei valori è diventato un momento fondamentale nel processo di conservazione.

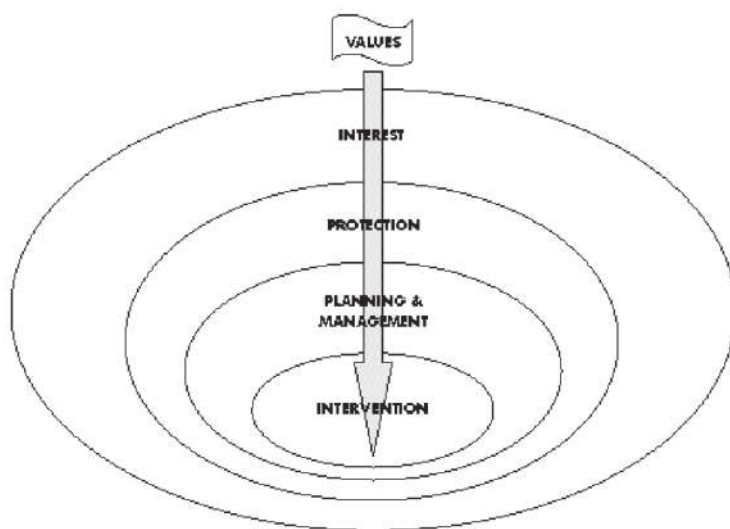


Figura 1.8: La situazione ideale delle politiche di conservazione, in cui tutte le fasi sono integrate, connesse e coerenti (da Avrami et al. 2010)

1.5.1 La ricerca

Il valore può essere ritenuto un attributo dell'oggetto che ne motiva la salvaguardia, ai fini della sua sopravvivenza. Già Riegl, e poi la Carta di Venezia, individuavano valori in quanto principi fissi, immutabili e ben distinti, che oggi invece si accetta essere variabili con il tempo e anche con la società (contestualizzazione). I valori tradizionalmente riconosciuti sono quelli della storia (connessione fisica col passato) e dell'arte (capacità di stimolare i sensi); i valori sociali e civici (rappresentando i modi di aggregazione e ritrovo del passato), spirituali e religiosi, simbolici (legati all'identità di un gruppo), di ricerca (testimonianza tangibile del passato), naturali (ruolo nell'ecologia di una certa comunità, risorsa naturale) ed economici (investimenti richiesti e ritorno economico dal sito e per le aree attorno), anche se non tutti i benefici espressi dal sito si traducono in termini economici (De La Torre 1997; Palumbo e Teutonico 2000).

Il fondamento del valore di un sito archeologico, o della ricerca archeologica più in generale, è la capacità di restituire sempre nuove informazioni relativamente al passato dell'uomo e dell'ambiente, in un ambito di ricerca via via più ampio, mano a mano che si affinano gli strumenti che il ricercatore può usare; in modo analogo il rudere ha un valore essenzialmente documentario, perché consente di apprezzare i materiali, le tecniche costruttive e di posa in opera, soluzioni tecniche particolari ai problemi di costruzione, la presenza di tracce di interventi pregressi eseguiti quando l'edificio era ancora in uso (Marino 2009).

A partire da questo valore si dispiegano tutti gli altri: storico-artistici, sociali, civici, educativi; spirituali e religiosi; simbolici e identitari; di ricerca; naturali; economici. I valori civici creano un legame tra la comunità e il sito; i valori educativi consistono negli insegnamenti che il passato può dare per il presente; i valori religiosi e spirituali, simbolici o di identità sono quelli attraverso cui un certo gruppo esprime il proprio posto nel mondo. In ogni caso essi hanno ricaduta positiva sulla società del presente. I siti archeologici offrono una finestra sul passato che permette di capire lo sviluppo dell'uomo, della società e della tecnologia. Pertanto, il bene culturale non fruito perde gran parte del proprio valore (De Marinis 1989). I valori economici, spesso posti in ombra, in realtà sono fondamentali, quanto meno per evitare un contrasto tra gli interessi di chi è disposto a sacrificare il tangibile per un intangibile miglioramento e chi no.

Il sito fornisce informazioni sulla storia, la cultura, l'arte l'architettura, lo sviluppo sociale e i conflitti di un certo gruppo di individui, e la ricerca archeologica ha la precipua funzione di dare risposte a domande ben poste e per questo deve individuare e leggere tutte le prove presenti sul sito. Poiché è la società che, attraverso gli enti statali, autorizza l'archeologo a queste indagini, essa deve poter comprendere le ricerche intraprese e le risposte ottenute. La buona interpretazione del sito non si riflette solo in un pubblico più informato ma anche in maggiori possibilità di sopravvivenza di qualcosa che sentono come proprio. La perdita di integrità (inquinamento, abusivismo edilizio ecc.) di un sito naturalistico, con conseguente perdita del valore economico, è spesso considerata più grave di fenomeni analoghi avvenuti su sito archeologico, probabile conseguenza di una minore partecipazione e consapevolezza. Non esiste una formula corretta per tutte le situazioni, ma si devono trovare soluzioni specifiche per ciascun sito, attraverso un adeguato piano di gestione, in cui si stabiliscano gli indirizzi a livello globale tanto quanto le operazioni da farsi tutti i giorni.

I valori sono estremamente soggettivi e in essi si deve credere per poterli esprimere correttamente. I valori possono essere tradotti in utilità (rispetto ad un certo obiettivo) o in significati. Esiste un beneficio immediato (il ritorno economico o d'immagine) e uno potenziale, legato alle informazioni che possono essere ricavate dal sito o altri positività che ne potranno derivare. Ancora, il beneficio immediato e potenziale formano nel loro complesso il valore: estetico, storico, sociale, scientifico, religioso, economico, educativo ecc. (De La Torre 1997). Vi è infine il problema del bilanciamento dei valori: tradizionalmente contava solo il significato culturale, il quale però esiste di per sé ed è percepibile solo dagli esperti, ma altri aspetti sono ugualmente importanti e quindi è necessario chiamare altri esperti o anche non-esperti in modo da integrare diverse visioni relativamente ai valori che si vorrebbero sviluppare.

1.5.2 Il conflitto

La valutazione di un sito non è cosa semplice poiché è variabile in funzione dei soggetti e dei tempi in cui essa viene eseguita ed è solo parzialmente dipendente dalla correttezza scientifica dei metodi utilizzati per conoscerlo (De La Torre 1997). Il massimo coinvolgimento di quanti possono avere un interesse sul sito è auspicato in letteratura proprio per individuare tutti, o quasi, i valori o, per meglio dire, i motivi per cui un sito o un oggetto sono importanti e andrebbero salvaguardati. La rarità e l'autenticità del sito, la

sua rappresentatività di un certo momento storico, lo stato di conservazione o, in altre parole, la capacità di documentare un certo momento della vicenda umana, sono aspetti che riguardano la ricerca e sono alla base del suo significato culturale e della sua capacità di restituire informazioni (Fig. 1.9). Uguale importanza assume il rapporto tra sito e ambiente, la cui compromissione può alterare drasticamente (in diminuzione) la quantità di informazioni che si possono ottenere.

Di converso, come si è visto, il sito ha ricadute anche in ambiti esterni a quello scientifico, ciò comporta la possibilità di conflitti tra valori, ovvero tra i diversi “perché” si dovrebbe salvaguardare, che vanno bilanciati: tipicamente la prevalenza accordata a uno mette a rischio uno o più degli altri o anche può cancellare valori (motivi) che magari non si erano riconosciuti (De La Torre 1997). Così, il valore archeologico o di ricerca può essere in conflitto con l’esigenza di presentazione al pubblico, perché quest’ultimo potrebbe richiedere interventi di restauro troppo pesanti, ricostruzioni estese o al limite della falsificazione; la stessa ricerca archeologica può andare contro l’esigenza di conservazione e non avere la capacità di attendere mezzi e tempi più adeguati; lo sfruttamento economico può provocare alterazioni del tessuto sociale (cambiamenti nell’economia locale) o dell’ambiente (costruzione di strutture ricettive e infrastrutture in modo incontrollato). In letteratura non viene mai visto come negativo il valore connesso allo sviluppo sociale di chi risiede attorno al sito, soprattutto laddove si instauri una reciprocità tra sito e abitanti così che ci sia supporto tecnico-gestionale per il sito e ricaduta educativo-identitaria per gli abitanti. È comunque possibile stabilire almeno una scala delle priorità, nella quale i valori storici e di ricerca, scientifici, estetici-artistici, religiosi/spirituali e etnico-sociali vengono prima dei valori economici o educativi, poiché questi ultimi sono legati ad una fase di nuovo uso del bene, successiva all’attività di documentazione e ricerca propriamente intesa nella quale vengono analizzati i primi (Levin 1992). La temperazione dei valori può essere risolta avendo come riferimento il principio di sostenibilità (Avrami et al. 2010):

- prendere in considerazione le esigenze delle generazioni future;
- distribuire con equità costi e profitti con larga partecipazione;
- conservare la diversità (culturale);
- generare benefici tangibili (economici) e non (sociali);
- usare risorse scarse in modo saggio e strategicamente;
- usare la massima precauzione, sapendo che molte azioni sul bene sono irreversibili;
- riconoscere l’interdipendenza, cioè i collegamenti interni al patrimonio culturale, alla società e all’ambiente;
- immediatezza della risposta, cioè assicurarsi che vi siano ricadute positive a breve termine per l’ambiente che circonda il sito culturale.

Activity Scale	Tensions	History	Nature (i.e., view and use of land and its raw materials)	Material culture	Beliefs (religious/ political/ ideological, etc.)	Direct political/ economic pressure	Mode of self-conscious cultural reproduction
Individual	Conflict between Us and Other (racial, cultural, religious)	Desire to preserve memories; selective auto-biography	Competition to secure appropriate share	Individual tastes; clothes; possessions; souvenirs; psychology of shopping	Personal beliefs	Individual compromises	Chosen attitudes of conformity and rebellion
Family	Human fallibility (greed, voyeurism, callousness, nostalgia, etc.)	Desire to preserve family memories, create family histories	Production and consumption practices seen as "appropriate"	Choice of domestic interiors; clothes; heirlooms; shopping practices	Nature of family tradition	Aspirations to improve status; often seen in technological terms	Mother's knee; father's stories; "learning from Nelly"
Local community	Perceived "economic" pressures of raw material, labor, debt, etc.	Selection of origin stories, local accounts	Chosen construction of nature as land allocation; building; food	Creation of culture through pick a' mix fashion	Mix of local family traditions, which constantly change	Efforts to channel local resentments, resistance to pressure to change	Accredited seniors; religious; "big men" employers, local institutions
Ethnic group	Clash between elite and popular culture; speed of global communication, including electronics, travel, tourists	Creation of origin stories; "ancestors"; management of discourses	Creation of narratives about "well-ordered landscape," "good food," "proper work"	Manipulated use of material symbol; creation of relics	Construction of cultural identity as a holistic worldview	Perceived fragility of "traditional ways of life"; threats to craft production	Choice of those vested with cultural reproduction role, associated institutions
Nation/ sovereign state	Media agendas; political and military force; pressures of population and space	Harnessing of major resources; top production of selected elite historical narratives	Construction of narratives about, e.g., "the rice paddy landscape," "French cuisine"	Creation of icons; effects of mass production; raw-material pressures; "high culture" and art	Chosen attitudes of inclusion and exclusion, and their "real" effect	Creation of stance favoring production over consumption; tax generation; internal suppressors	State education systems; agencies of cultural stewardship; roles of these in hierarchy
World	Professionalisms and others	Competition between grand narratives involving concepts like neocolonial, Western, Oriental	Choice of various narratives to be disputed/reconciled—e.g., Unesco list of world heritage sites	Creation of world-class icons—e.g., Mona Lisa	Construction of major competing systems—e.g., Christianity/Islam/Judaism; capitalism/communism	Permitted actions of transnational companies; warfare; terrorism	International agencies; travel and communication; international media; pressure groups; think tanks

Figura 1.9: Attività, interazioni e tensioni determinate dalla definizione dei valori nella creazione del patrimonio culturale (da Avrami et al. 2010)

De La Torre (1997) afferma che una volta distrutta o compromessa l'autenticità, per effetto di uno sfruttamento incontrollato, il bene culturale archeologico non può essere ripristinato. Politiche gestionali inadeguate (eccessivo afflusso di visitatori, edilizia speculativa nei pressi del sito, mancanza di un efficace strategia di fruizione del sito), mancanza di coordinamento tra i diversi gruppi o comunque uno sbilanciamento tra i valori, sono tutti motivi della contrazione del ruolo sociale del sito, della perdita di valore economico o di situazioni tali da compromettere la sopravvivenza stessa del bene culturale (De La Torre 1997).

Eppure, non è possibile assicurarne la sopravvivenza di lunga durata se il sito non diviene oggetto dell'interesse della comunità in cui si colloca e, di conseguenza, fonte di una qualche forma di benessere (sociale o economico) per essa. Ne consegue che per assicurare la sopravvivenza fisica dei beni, la loro trasmissione al futuro e il loro stesso valore

culturale non si possono che mettere in campo programmi di gestione e d'uso completi e approfonditi.

Facendo riferimento ad un intervento di nuova progettazione sul sito archeologico il conflitto tra archeologo e progettista si gioca soprattutto sul valore d'uso e di ricerca, tra il rispetto del dato materiale che offre l'informazione non mediata, comprensibile al ristretto gruppo di specialisti, e la trasmissione di significati, che sono invece accessibili anche ad un pubblico più vasto. La fruizione dunque non è solo un'azione fisica, l'ingresso in uno spazio o l'accesso ad un edificio o un'area, ma è anche una possibilità in ordine alla mente, all'accesso ai significati; ciò è tanto più vero quanto più l'architettura è stata trasformata in rudere, poiché la rosa di significati si amplia notevolmente. Alcuni (Carandini) sostengono la posizione che l'intervento di oggi comprometta la leggibilità del futuro, soprattutto se non si è sicuri del modo di procedere, lasciando dunque intatto il dato materiale in modo che il futuro possa escogitare la soluzione corretta. Esiste anche un contrasto tra il modo di vedere dell'archeologo, di dettaglio e di successione storica delle fasi di un sito (lettura verticale), e del progettista, d'insieme, alla scala del manufatto in una certa fase del suo esistere (lettura orizzontale) (Cecchi e Gasparoli 2010).

Questi temi sono alla base delle riflessioni affrontate in seguito, nei capitoli dedicati al rischio e a quello dedicato al progetto.

1.6 Osservazioni conclusive

La ricerca può partire dallo studio del significato dei suoi oggetti.

Lo scavo, il sito, e il parco costituiscono una realtà molto più complessa che in passato, in virtù dell'ampliamento degli interessi della disciplina e della maggiore sensibilità degli strumenti utilizzati per la ricerca. Centro dell'interesse non è più il monumento ma il documento, cioè il bene inteso come traccia di un sistema di relazioni umane svoltesi nello spazio e nel tempo del passato, al di là del giudizio artistico ed estetico. L'attribuzione di importanza alla traccia e la decisione di conservarla perché anche il futuro la possa apprezzare però dipende da un giudizio espresso nel tempo presente e, in quanto tale, può essere soggetto al tempo presente. Ecco perché il capitolo presenta anche una disamina dei più recenti orientamenti in merito al "problema del valore", apparso già agli inizi della riflessione moderna sul restauro.

Il tema del valore riacquista centralità perché permette di inquadrare e definire in maniera se non oggettiva, almeno espressa secondo canoni riconosciuti, gli attributi che rendono interessante il bene, il destinatario dell'informazione documentale e i modi più opportuni per conservare tali attributi e trasmettere le informazioni.

Il rudere ha attribuzioni che superano la sua realtà fisica e grazie agli strumenti dello scavo archeologico, che trasformano il rudere in uno scavo, è possibile scoprirle e collegarle a situazioni simili rinvenibili in altre parti del territorio. Una volta scoperte vanno protette e conservate, limitando il degrado fisico del rudere — la cui sparizione coincide con la perdita di ogni attributo — e il depauperamento del significato — la cui alterazione comporta la sua trasformazione in altro —. Infine vanno trasmesse al pubblico perché le apprezzi e possa sentirsi attivamente coinvolto nel loro mantenimento.

La successione delle operazioni illustrate dimostra la complessità dell'intera procedura che

è possibile gestire in modo efficace solo se vi è il coinvolgimento di un gruppo completo di esperti, i quali devono contribuire ciascuno nel proprio settore e con la propria prospettiva in quelli altrui (Fig. 1.10).

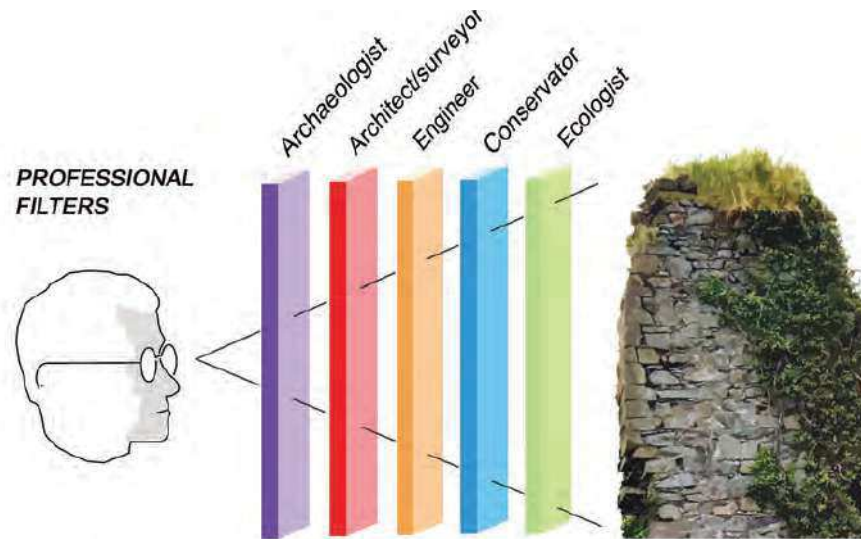


Figura 1.10: I filtri con cui guardare il rudere archeologico. Un archeologo cerca di determinare le fasi costruttive e le fonti di approvvigionamento dei materiali; un architetto o un ingegnere si concentrano sulla stabilità strutturale; un conservatore cerca di stabilire lo stato di degrado; un ecologo cerca di identificare la flora e la fauna. Ciascuno richiede perspicaci capacità di osservazione e deduzione, tuttavia è possibile, con una formazione adeguata, che un esperto possa imparare a vedere attraverso le lenti di un'altra competenza, almeno a livello base (da Michaelides e Guimier-Sorbets 2017)

Capitolo 2

Il rischio e i siti archeologici

Se la conservazione dei materiali archeologici, in termini molto generali, è finalizzata ad annullare o limitare gli effetti dannosi degli agenti aggressivi di origine antropica o naturale, per poter definire criteri efficaci in grado di assicurarla è necessario stabilire anzitutto quali sono le minacce o i rischi. La letteratura sul tema non si caratterizza per sistematicità di approccio, più facilmente riscontrabile in quella dedicata ai manufatti e agli oggetti del patrimonio culturale (Huisman 2009). Diverse indicazioni utili vengono da studi dedicati in generale al costruito storico (Camuffo 2014), ai musei (MIBACT 2000) e alla conservazione dei mosaici¹. Il criterio qui seguito per riordinare il materiale raccolto è quello delle tre componenti del rischio: definizione degli agenti (pericolosità), definizione della predisposizione dei materiali al danno (vulnerabilità), qualificazione e quantificazione dei beni passibili di danno (esposizione).

2.1 Il rischio

L'accertamento del rischio, reale o potenziale, è un passaggio fondamentale per la progettazione dell'intervento archeologico (Roby e Demas 2012). Esso si basa su a) studio della documentazione passata; b) riconoscimento dello stato delle strutture archeologiche; c) individuazione delle situazioni di pericolo; d) diagnosi delle cause di deterioramento². Solo attraverso questo percorso è possibile arrivare ad un intervento — che non esclude il non-intervento — effettivamente motivato e pertinente per il caso specifico.

Il concetto di rischio, in termini generali si compone di tre fattori — pericolosità, vulnerabilità, esposizione — e, nel campo dei beni culturali, Cecchi e Gasparoli (2010) lo definiscono come «una misura del livello di danno che in base alle caratteristiche di pericolosità (cli-

¹Cfr. i convegni della serie *Mosaics smake a Site* riportati anche in bibliografia

²Si tratta del “percorso della conoscenza” condiviso da tutta la produzione normativa italiana, cogente o volontaria, relativa al patrimonio culturale edificato definito a partire dalla esperienza di L. Binda. La bibliografia in merito è assai ampia; si rimanda pertanto alle *Linee Guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico* e alla D.P.C.M. 09/02/2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008* (in attesa di aggiornamento) che sono i documenti normativi che riassumono l'intero procedimento.

matica, idrogeologica, antropica, sismica) del sito e delle condizioni (vulnerabilità) degli elementi esposti si può verificare in un intervallo di tempo».

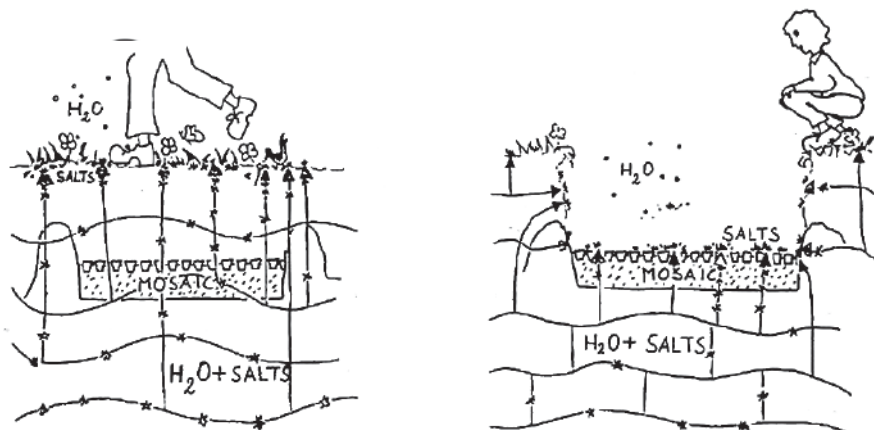


Figura 2.1: Il trauma dello scavo sui materiali archeologici (da *Conservación in situ* 1996)

La sopravvivenza di quanto rimane sepolto è condizionata anzitutto dalle condizioni e dalla natura del terreno che lo ricopre. Gli agenti di deterioramento sono i medesimi presenti in atmosfera — ossigeno, acqua, sali, pH, agenti batterici — ma si riduce la velocità di interazione con i materiali, in funzione della durata del ricoprimento e della struttura, coesiva o incoerente, del suolo. Nel momento in cui la stratigrafia archeologica viene portata alla luce, questo equilibrio viene alterato bruscamente, inducendo peraltro nuovi fattori di stress chimico-fisico dovuti per esempio all'esposizione alla radiazione solare, al vento e alla pioggia. Lo scavo, infatti, che procede dall'alto verso il basso in verticale e puntualmente o in estensione in orizzontale, non è un'operazione di per sé immediata e comunque devono essere garantiti i tempi per creare progressivamente la documentazione necessaria. Le strutture rinvenute si trovano infine in una situazione intermedia: immerse ancora nel terreno in basso — da cui ricevono umidità e sali — esposte all'aria in alto — dove avviene evaporazione e deposito dei sali — (Pedeli e Pulga 2002).

2.2 Pericolosità

La pericolosità corrisponde alla probabilità che un certo evento si verifichi oltre una soglia ritenuta dannosa in un dato intervallo di tempo; in assenza di situazioni particolari è sempre determinato dall'insieme delle condizioni aggressive (antropiche e ambientali) alle quali il manufatto è sottoposto e dalla cui interazione si determinano le condizioni di degrado (Gasparoli 2014). Per stabilire una scala di pericolosità, va valutata la frequenza relativa e la grandezza degli eventi in grado di compromettere l'integrità del manufatto. A questo proposito nei primi anni Duemila l'ICR elaborò la Carta del Rischio dei beni culturali, contenente informazioni relative alle tre componenti note al ministero; lo strumento è attualmente disponibile in rete³. In essa sono state individuate una pericolosità am-

³I presupposti teorici della carta sono illustrati da Laurenti (2006) mentre la carta è raggiungibile all'indirizzo <http://www.cartadelrischio.it>.

bientale, una statico-strutturale e una antropica. La **pericolosità ambientale**, che induce degrado nei materiali, è legata ai fattori climatici, agli scambi energetici tra l'edificio e l'ambiente e all'inquinamento; la **pericolosità statico-strutturale** è determinata dai fenomeni che incidono sulla sicurezza delle strutture, quali terremoti, frane, esondazioni, dinamiche dei litorali, valanghe e vulcanismo. La **pericolosità antropica** infine è dovuta agli effetti negativi che le dinamiche economiche e sociali hanno sulle strutture — in senso lato, e, nel caso specifico, sui beni culturali — che insistono su un certo territorio, prendendo la forma di sovrappopolamento, spopolamento, pressione turistica, possibilità di vandalismi, anche di origine bellica.

La quantificazione della pericolosità dipende pertanto dalla sovrapposizione, su tutto il territorio nazionale, dell'intera cartografia tematica del settore. Una stima, ai fini strettamente progettuali di questa tesi, è stata tentata su un campione di poco meno di 500 siti archeologici, distribuiti su tutto il territorio nazionale, determinando in base alla collocazione spaziale la classe delle azioni variabili previste dalla vigente normativa tecnica: vento, neve e sisma su base rispettivamente regionale, provinciale o comunale⁴.

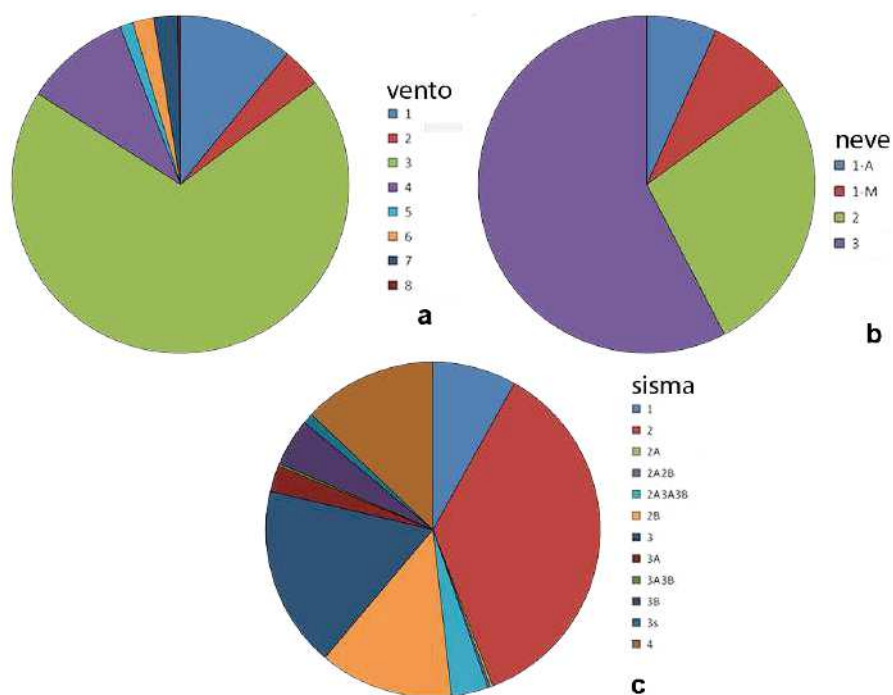


Figura 2.2: Collocazione di un campione di circa 500 siti archeologici italiani rispetto alle classi di azioni della normativa tecnica italiana (NTC 2018) per; a) zona vento; b) zona neve; c) zona sismica

⁴Il database è stato creato individuando nel territorio italiano i siti progressivamente incontrati nel corso dell'analisi di letteratura. I dati sono stati inseriti nel programma MS Access curando anche la gestione dell'interfaccia grafica, tramite maschere di inserimento e di ricerca. Le informazioni immagazzinate sono relative al nome del sito (attuale e antico); localizzazione amministrativa attuale (comune, provincia, regione); localizzazione rispetto alla zonizzazione delle azioni naturali (vento, neve, sisma); tipo e consistenza (sito isolato, area urbana; in scavo, rasoterra, fuori terra); presenza di copertura; tipo (definitiva, provvisoria) e materiali (struttura verticale, tipo di manto) della copertura.

Poiché, come è naturale, nel database si riscontra una prevalenza di insediamenti situati al sud, sulle zone costiere o sulle prime pendici montuose, la sismicità prevalente è di categoria medio-alta (seconda su 4), la nevosità di categoria bassa (3 su 3) e la ventosità di categoria media rispetto alle categorie di azione previste dalla normativa attuale (3 su 8) (Fig. 2.1).

2.2.1 Fattori ambientali

Le aggressioni ambientali ai materiali archeologici conservati *in situ* possono avvenire in modo lento e costante o improvviso e distruttivo (Marino 2009). Nelle prima rientrano di solito gli effetti del clima e dell'inquinamento atmosferico oltre all'energia termica del sole, tra i secondi i fenomeni che interessano la stabilità delle strutture in modo impattivo, quali alluvioni, terremoti, frane. La pericolosità è determinata dalla capacità dei suddetti fattori di alterare dal punto di vista chimico e fisico la consistenza materica delle strutture.

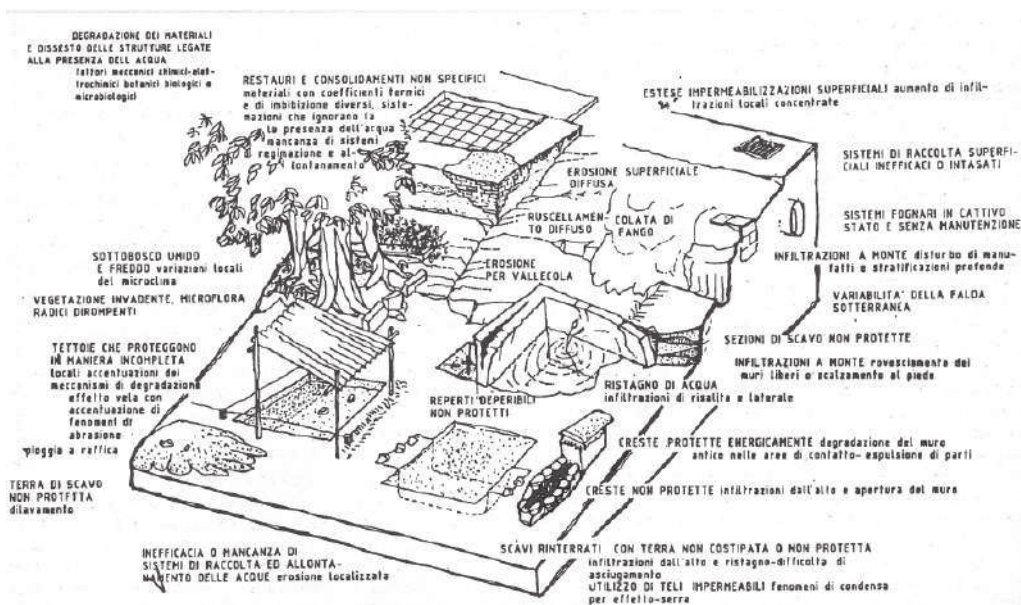


Figura 2.3: Schematizzazione grafica dei problemi del sito archeologico conservato *in situ* (da Amendolea 1988)

I fattori aggressivi possono essere organizzati come segue (Fig. 2.3):

Condizioni geotecniche. Le condizioni di pericolosità del terreno su cui si colloca il sito possono interessarlo sia a scala globale, per effetto dei movimenti di massa di interi pendii, sia alla scala locale dello scavo, relativamente alla sistemazione dei fronti di scavo.

- Frammenti del pendio su cui si colloca il sito archeologico. È un'eventualità che si spera remota ma si può verificare in occasioni di forti piogge. Essa comporta gravi danni sul sito dovuti allo scivolamento del terreno nello scavo o allo scivolamento dell'intero sito;

- Franamenti dei fronti di scavo o dei depositi del terreno di risulta. Il danno è simile al punto precedente ma il danno avviene su una scala più ridotta e consiste principalmente nel ritrovarsi nuovamente il terreno all'interno dello scavo, con alterazioni delle stratigrafie e probabilmente danni diretti da impatto sulle strutture;
- Variazioni stagionali del livello della falda. Possono determinare cedimenti differenziali del terreno e delle strutture e provocare allagamenti dello scavo;

Situazione idraulica. L'acqua può essere presente sul sito in molte forme, tutte allo stesso modo dannose per i materiali archeologici (Figg. 2.4,2.5).

- Risalita della falda che determina l'imbibizione delle murature e il trasporto di sali solubili;
- Acqua superficiale libera che ruscellando sulle superfici determina l'erosione delle murature e dei fronti di scavo fino al crollo e il trasporto di terreno e altre particelle sui pavimenti esistenti;
- Acqua superficiale libera che occasionalmente si accumula sull'intera estensione del sito a causa di improvvise precipitazioni abbondanti o esondazioni di corsi d'acqua limitrofi o che ciclicamente si accumula in quelle zone del sito dove il terreno è stato reso impermeabile dal calpestio o dal cantiere;
- Acqua superficiale libera intercettata da eventuali coperture e poi dispersa al piede delle strutture invece di essere raccolta e recapitata alla fognatura;
- Acqua di infiltrazione dalla sommità delle murature, anche attraverso le fessure aperte in copertine di protezione troppo rigide;
- Acqua di condensazione che si forma sulle superfici archeologiche o all'interno delle murature in conseguenza delle variazioni diurne o stagionali dell'umidità e della temperatura;
- Acqua di condensazione che si forma sulle superfici delle strutture di protezione appannandole, riducendo così la permeabilità visiva, o gocciolando sui materiali archeologici;
- Acqua presente nell'umidità dell'aria che può veicolare sostanze inquinanti, intese come composti reagenti, di origine naturale, di solito marina, o antropica, di origine urbana o industriale;



Figura 2.4: Condizioni di pericolo veicolate dall'acqua-1: a) accumulo dell'acqua piovana sul sito (area archeologica a Voghiera, FE); b) risalita dell'acqua di falda (area archeologica a Valmontone, RM)

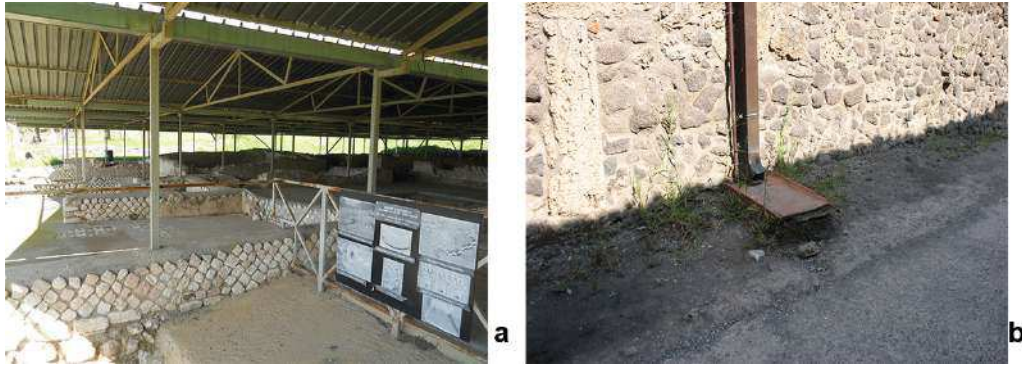


Figura 2.5: Condizioni di pericolo veicolate dall'acqua-2: a) stillicidio proveniente dalla condensa struttura metallica e dalla non perfetta tenuta dei pluviali (area archeologica a Cottanello, RI); b) pluviale disperdente in superficie (Pompei)

Vento Si tratta di un fattore di degrado solitamente trascurato ma con effetti a volte gravi; la sua azione è di natura principalmente fisica:

- Deposito di polveri che diventano presto un sedimento difficilmente rimovibile, soprattutto durante lo scavo;
- Erosione delle superfici esposte ai venti dominanti;
- Possibilità di crolli in strutture provvisorie mal progettate, fronti di scavo non protetti e oscillazioni incontrollate in elementi architettonici liberi;
- Incremento dell'evaporazione dei materiali archeologici con conseguente aumento della deposizione di sali;

Vegetazione. La vegetazione può rivelarsi utile per l'ambientazione del sito e, entro certi limiti, per la sua rievocazione, ma la scelta delle essenze e una assidua manutenzione sono il requisito minimo perché i danni non siano maggiori dei benefici. Fonti di pericolo sono (Fig. 2.9):

- Alghe e batteri autotrofi, fotosintetici o chemiosintetici, che producono agenti chimici aggressivi e fanno da base ad ulteriori microrganismi;
- Radici di alberi che esercitano un'azione chimica di disgregazione dei materiali e fisica di pressione su strutture e pavimentazioni;
- Radici di infestanti, che allargano le lesioni e trattengono l'acqua ;
- Accumulo di fogliame che intasa i sistemi di scolo e trattiene l'umidità;
- Accumulo di umidità;

Esposizione al sole. L'esposizione diretta al sole dei materiali è causa dei seguenti effetti deleteri (Fig. 2.6):

- Dilatazione termica differenziale tra parti illuminate e in ombra con conseguente insorgenza di stati di tensione anche notevoli;
- Migrazione dei sali solubili per evaporazione;
- Aumento del tasso di sviluppo dei batteri autotrofi;
- Sbiadimento alterazione dei colori per effetto dei raggi UV;

- Ossidazioni e alterazioni chimiche stimulate dalle radiazioni

Clima e microclima. Il clima e più in particolare il microclima che interessa il sito archeologico, è il risultato, tra l'altro, delle combinazioni tra temperatura e umidità dell'aria in rapporto a quelle di un materiale per definizione poroso come è quello archeologico (Fig. 2.6):

- I cicli termici, giornalieri e stagionali, determinano l'insorgere di tensioni nei materiali e la differenza di temperatura tra aria e strutture può determinare la condensazione sulle superfici;
- Le variazioni di umidità dell'aria si riflettono nella dissoluzione o nel deposito di sali nei materiali archeologici;
- Le variazioni di umidità possono provocare l'insorgere di tensioni in oggetti composti da materiali con diversa igroscopicità;
- Il congelamento dell'acqua induce forti pressioni nei materiali porosi, che possono manifestare disgregazione;



Figura 2.6: Condizioni di pericolo create dalla luce solare nell'interazione con la copertura: a) zone d'ombra alternate a zone di sole diretto (area archeologica a Pesaro); b) illuminazione diffusa con la trama della struttura della copertura (area archeologica di Sarsina, FC)



Figura 2.7: Condizioni di pericolo non mitigate dalla copertura: a) effetto serra indotto dalla copertura vetrata (area archeologica a Cividate Camuno, BG); b) assenza di protezione laterale (area archeologica di Atripalda, AV)



Figura 2.8: Aree archeologiche in cui la situazione di pericolo è generata dalla mancanza di comprensibilità, per ragioni diverse, delle strutture archeologiche

SCHEMA DI CLASSIFICAZIONE DELLE SPECIE PER IL CALCOLO DELL'INDICE DI PERICOLOSITÀ		
Forma biologica	Invasività e vigore	Apparato radicale
0 - Piantе annue	0.0 - Non reptanti a sviluppo normale	0.0.0 - senza fittone
		0.0.1 - con fittone debole
		0.0.2 - con fittone robusto
0.1 - Reptanti	0.1.0 - senza fittone a sviluppo normale	0.1.1 - con fittone debole
		0.1.2 - con fittone robusto
	0.2 - A sviluppo molto vigoroso	0.2.0 - senza fittone
		0.2.1 - con fittone debole
1 - Piantе bienni reptanti	1.0 - Non reptanti e reptanti	1.0.0 - senza fittone
		1.0.1 - con fittone debole
		1.0.2 - con fittone robusto
2 - Perenni erbacee	2.0 - Muschi e Licheni	2.0.0 - senza fittone
	2.1 - Erbe a crescita non invadente, oppure a sviluppo gracile	2.1.0 - senza fittone
		2.1.1 - con fittone debole
	2.2 - Erbe a crescita invadente, oppure a sviluppo molto vigoroso	2.1.2 - con fittone robusto
		2.2.0 - senza fittone
	3 - 4 Arbusti	3.0 - Suffrutici
2.2.2 - con fittone robusto		
3.0.0 - poco invadente		
4.0 - Arbusti non polloniferi o di piccola taglia		3.0.1 - mediamente invadente
		3.0.2 - molto invadente
		4.0.0 - poco invadente
4.1 - Arbusti polloniferi		4.0.1 - mediamente invadente
		4.0.2 - molto invadente
		4.1.0 - poco invadente
4.2 - Arbusti con polloni radicanti		4.1.1 - mediamente invadente
		4.1.2 - molto invadente
		4.2.0 - poco invadente
5 - Liane	5.0 - Non pollonifere	4.2.1 - mediamente invadente
		4.2.2 - molto invadente
		5.0.0 - poco invadente
	5.1 - Pollonifere	5.0.1 - mediamente invadente
		5.0.2 - molto invadente
		5.1.0 - poco invadente
6 - Alberi	6.0 - Non polloniferi	5.1.1 - mediamente invadente
		5.1.2 - molto invadente
		6.0.0 - poco invadente
	6.1 - Con polloni di ceppaia	6.0.1 - mediamente invadente
		6.0.2 - molto invadente
		6.1.0 - poco invadente
6.2 - Anche polloni radicali	6.1.1 - mediamente invadente	
	6.1.2 - molto invadente	
	6.2.0 - poco invadente	
	6.2.1 - mediamente invadente	
	6.2.2 - molto invadente	

La pericolosità di ciascun parametro cresce dall'alto verso il basso.
L'Indice di Pericolosità (IP) si ottiene sommando i numeri dell'ultima colonna e varia da 0 a 10.
IP fino a 3: specie poco pericolose. IP da 4 a 6: mediamente pericolose. IP 7 e oltre: molto pericolose.

Figura 2.9: Pericolosità delle principali essenze arboree (da Marino 2009)

2.2.2 Fattori antropici

Le fonti di degrado di origine antropica per un sito archeologico sono numerose e spesso ancora più distruttive dei fenomeni naturali (Palumbo e Teutonico 2000). L'effetto negativo dell'attività antropica sul sito archeologico può essere diretto, dovuto cioè ad azioni sconsiderate (vandalismo, furto, pressione turistica), oppure indiretto, legato alle dinamiche di sviluppo o di abbandono di un certo territorio (Laurenti 2006; Fig.2.10) e può essere di natura volontaria (vandalismo, furto) o involontaria-inconsapevole (usura, uso inappropriato, Fig.2.8) eventualmente acuitizzato da una mancata sensibilizzazione o da un percorso di fruizione inadeguato. Poiché si tratta di fattori attribuiti all'attività dell'uomo, essi comprendono anche i risvolti immateriali della sua attività pratica, ossia la modificazione dei valori che determinano il sito archeologico.

L'interdisciplinarietà nella formazione delle decisioni, un approccio che muova dalla conoscenza e dal coinvolgimento di tutte le figure interessate al sito per arrivare alla formazione della strategia e dell'implementazione, una gestione affidata a personale formato e responsabile sono pertanto requisiti minimi per minimizzare l'impatto dell'attività umana sui prodotti della sua storia.

Ranellucci (2009) sottolinea la pericolosità di attribuire un nuovo uso al sito archeologico, criticando dunque le opere di rivitalizzazione, poiché, interferendo con i significati dell'oggetto ne causano una deviazione, cosicché non vengono più trasmessi ma sacrificati alla nuova situazione. Al contrario, nel parco archeologico, ove prevale il godimento estetico della rovina, senza che si riesca a penetrare nel merito della funzione o della vita trascorsa in quella costruzione, solo pochi fruitori sono in grado di "oltrepassare la soglia" (Fig. 2.8). Di seguito si propone un elenco, che non vuole essere esaustivo, dei pericoli generati dall'attività umana esercitata sui materiali archeologici (De La Torre 1997; Laurenti 2006; Marino 2009; Michaelides 2003):



Figura 2.10: Fenomeni di popolazione di segno opposto: a) pressione abitativa attorno alla Cittadella di Amman, Giordania (da [1]); b) spopolamento delle aree del Centro Italia colpite dal terremoto del 2016, Campi Alto di Norcia (PG)

Dinamiche economico-sociali. Lo sviluppo economico è senza dubbio una delle maggiori cause di distruzione del patrimonio archeologico, poiché gli insediamenti antichi si collocano tipicamente in località e suoli favorevoli anche per l'edificazione moderna. L'espansione urbana — ma questo è un aspetto riferito ad un recente passato, a meno di non riferirsi ai paesi ancora in via di sviluppo —, la scomparsa delle tecniche di

coltivazione e manutenzioni tradizionali degli ambiti rurali, lo spopolamento sono tutti fattori che determinano la scomparsa di siti e paesaggi. In mancanza di un adeguato piano di gestione, i siti diventano prima o dopo "isole" di passato senza alcuna connessione col presente, venendo percepite più che altro come intralci e zone vuote;

Inquinamento. È attribuibile a⁵:

- Sostanze inquinanti disperse nel terreno. Possono essere dovute a perdite dalle fognature, specie in area urbana, o per effetto di scarichi di materiali utilizzati nel cantiere e riconosciuti nocivi solo in tempi recenti (es. eternit);
- Depositi di materiali risultanti dallo scavo archeologico oppure dal cantiere: possono franare sul sito, ospitano piante infestanti favorendone l'attecchimento sul sito, creando degrado visuale e paesaggistico;
- Variazione del livello delle acque sotterranee che possono indurre cedimenti o favorire la risalita di sali solubili
- Inquinamento dell'aria che comporta la presenza di ioni reattivi sono fonte ulteriore di degrado. I composti più aggressivi e dannosi sono i cloruri e i solfati, i primi di origine marina i secondi antropica, che alterano la superficie dei materiali e possono penetrare anche in profondità in presenza di materiali porosi o fessurati;
- Apporto di polveri, inquinanti ed umidità durante i periodi di notevole afflusso di visitatori in ambienti confinati o semiconfinati dove sia carente la ventilazione;



Figura 2.11: Condizioni di pericolo determinato dall'afflusso incontrollato di visitatori che camminano direttamente sui resti archeologici (area archeologica di S. Giustino, PG; da [2])

Frequenzamento del sito. La presenza di visitatori sul sito può determinare le seguenti situazioni:

⁵Altri lo inserisce nei fattori di origine naturale.

- Perdite di tracciato. Possono interessare tanto i percorsi antichi quanto gli allineamenti murari e sono dovuti principalmente alla proliferazione incontrollata della vegetazione o al calpestio non regolamentato del sito;
- Usura e abrasione delle superfici pavimentali e murarie. Ne sono esposte soprattutto le aree dove manca un'adeguata gestione dei flussi e degli spazi di sosta dei visitatori che possono pertanto sedersi sulle rovine, usurare soglie e gradini;
- Variazioni della natura del suolo. Dovute anche queste al transito dei visitatori consistono nella formazione di strati di suolo compatti che favoriscono il ristagno dell'acqua piovana o modifiche dell'assetto paesaggistico;
- Vandalismo volontario o casuale. È dovuto al fatto che i visitatori possono voler portare con sé un pezzo del monumento per souvenir, oppure asportarne parti malferme involontariamente. Comportamenti cui possono sommarsi gli atti deliberatamente intesi a distruggere i simboli e i ricordi dell'identità di un popolo durante un conflitto;
- Carico eccessivo di visitatori. Determina sovraccarichi nelle strutture archeologiche, ed in quelle destinate alla musealizzazione anche vibrazioni, oltre a limitare il godimento personale del sito;
- Sollecitazioni indotte da attività nei pressi del sito archeologico. Si va dalle vibrazioni causate dal traffico urbano, all'alterazione della stratigrafia o a franamenti dello scavo o nei pressi di esso derivanti da altri cantieri per la costruzione di infrastrutture ed edifici;
- Turismo. Un eccessivo afflusso turistico può determinare l'alterazione dei delicati equilibri instaurati sul sito archeologico per effetto dell'apporto di inquinanti, umidità o polvere; dell'usura dei materiali; del sottodimensionamento delle strutture di accesso. È importante l'aspetto esteriore del sito, trascurato o ben tenuto, nel determinare il comportamento finale del visitatore;
- Saccheggi. Attribuibili a motivi politici in epoche e regioni in conflitto ma non trascurabili anche quelli finalizzati all'immissione dei reperti nei mercati illegali;
- Sovraesposizione. Si tratta di una progressiva "consunzione" del bene, fisica ma anche spirituale;

Danneggiamento involontario. L'aratura meccanizzata moderna, che si spinge molto in profondità, è stata spesso causa di perdita o danneggiamento di siti posti in prossimità della superficie del terreno;

Vibrazioni. Il traffico stradale, le lavorazioni edili nei pressi del sito, il traffico pedonale sulle passerelle che permettono la fruizione del sito magari ancorate alle strutture archeologiche possono indurre vibrazioni pericolose per l'integrità strutturale;

Scavi e interventi inadeguati Le possibilità che un intervento mal concepito o male realizzato possano arrecare danni alla consistenza materiale dei siti archeologici sono spesso concrete, soprattutto se a monte manca una programmazione non solo dello

scavo ma anche di quello che accadrà dopo di esso, in grado già di orientare le scelte tecniche al momento della messa in luce.



Figura 2.12: Condizioni di pericolo determinate dalla configurazione dello scavo: tagli verticali su terreno argilloso (scavo a Comacchio, FE); fronti scoscesi in terreni incoerenti (Pompei, regio IV)

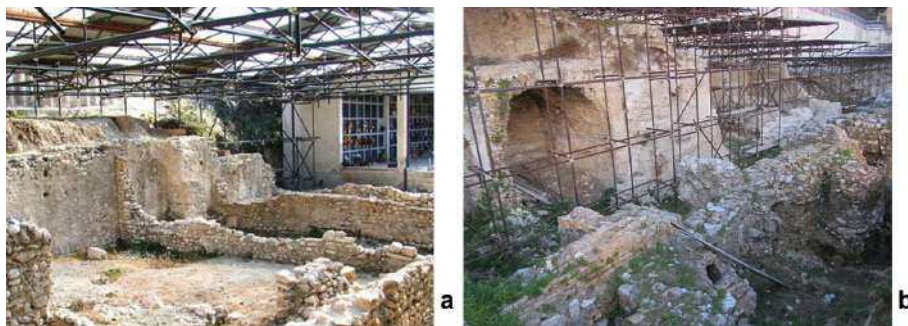


Figura 2.13: Le strutture provvisorie in tubo-giunto da ponteggio richiedono comunque un'adeguata progettazione e una manutenzione assidua (Pompei, regio IV)



Figura 2.14: La struttura di copertura può avere una presenza fisica impattante o essere realizzata in modo tale da alterare o impedire la percezione del resto archeologico: a) area archeologica di Casignana, RC (da: [3]); b) area archeologica presso Atripalda, AV (da [1])

- Lo scavo. La messa in luce dei materiali archeologici significa poterli studiare e conoscere ma anche esporli al degrado dell'ambiente;
- Il restauro, sotto l'aspetto dei criteri adottati per l'esecuzione dello stesso. In taluni casi, appare più corretto parlare di "manomissioni", vale a dire di inter-

venti la cui logica di fondo è altra dall'esaltazione delle qualità del monumento, quali la ricostruzione a fini turistici, la prevalenza data ad una certa fase storica;

- Il restauro, nella sua applicazione pratica. Non sono rari i casi di restauri che usano soluzioni tecniche ardite, materiali costosi, poco durevoli o poco sperimentati nel loro rapporto coi materiali archeologici, che generano danni a causa della loro incompatibilità;
- Impiantistica invadente. Il problema si pone quando manca un vero progetto degli impianti, o non si ha cura per la scelta di soluzioni magari a basso contenuto tecnologico ma a maggiore affidabilità;
- Adattamenti inadeguati. Certi interventi volti a favorire l'accessibilità e la fruizione del sito non sempre sono del tutto compatibili o comunque rispettosi della preesistenza e tendono piuttosto a snaturarla;
- Situazioni di pericolo strutturale. In questa fattispecie rientrano gli scavi al di sotto delle fondazioni, presso murature o elementi verticali fuori piombo o liberi di vibrare;
- Utilizzo di getti in calcestruzzo. Il calcestruzzo, armato o meno, non è in realtà un materiale così durevole, soprattutto se lasciato esposto alle intemperie in assenza di strati o elementi di protezione come è frequente in un sito archeologico. Il cemento apporta poi una notevole quantità di sostanze reattive e incompatibili con i materiali archeologici;
- Copertine di protezione. Queste possono essere assenti, e allora l'infiltrazione di acqua nelle murature è libera, oppure essere troppo rigide e allora fratturarsi per adattarsi ai movimenti della muratura sottostante e, ancora una volta, lasciare via libera alla penetrazione dell'acqua;
- Interventi strutturali. Può accadere di correggere l'andamento di murature storte già prima dell'abbandono del sito, cancellando quindi uno dei potenziali motivi dell'abbandono oppure caricare murature che era meglio lasciare scariche o viceversa o ancora integrare cortine murarie o murature mai esistite
- Interventi che cancellano le tecniche costruttive, per quanto farraginose, originali;
- "Eccesso di cura". Può accadere quando un monumento vede la sostituzione progressiva di sue parti deteriorate, pulizie ripetute e adeguamenti che conducono ad una progressiva adulterazione del rudere;
- Surriscaldamento indotto da lampade inadatte o dall'effetto serra dovuto all'uso di coperture traslucide o trasparenti sul sito (Fig. 2.16);
- Presenza di puntellamenti e strutture provvisorie non protette. Il pericolo che comportano è molteplice: possono punzonare le murature nel punto di contatto, macchiare le superfici archeologiche con la ruggine o altri prodotti di corrosione, offrire riparo e posto per la nidificazione agli uccelli con conseguente accumulo di guano corrosivo (Fig. 2.14);

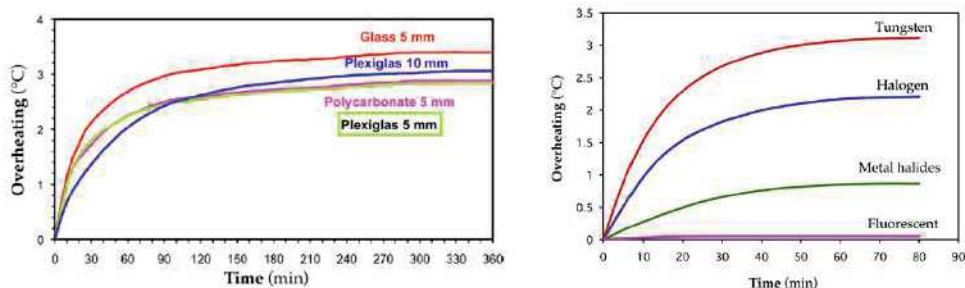


Figura 2.15: Incremento della temperatura dovuto alle lampade e alle coperture trasparenti (da Camuffo 2014).

Manutenzione insufficiente. L'assenza di manutenzione, dipendente da fattori amministrativi (assenza o indisponibilità di fondi) e gestionali (assenza di personale adeguatamente formato), è causa di una miriade di problemi che singolarmente sono di piccola entità ma che nel loro complesso possono generare situazioni di notevole degrado;

Condizioni di scavo. Anche se la posizione del sito è indipendente dalle scelte moderne, l'organizzazione non corretta del cantiere e la trascuratezza rispetto ad una adeguata sistemazione del terreno possono provocare situazioni di pericolo. In particolare si rinvencono:



Figura 2.16: La scelta di lasciare esposto uno scavo anche in zone molto isolate o montuose, per di più con tettoie prive di protezioni laterali può comportare la completa perdita di quanto è stato rinvenuto

- Ribassamento dello scavo. Lo scavo si trova in genere al di sotto del piano campagna risultando così soggetto all'allagamento se non si predispose una rete di drenaggio adeguata;
- Variazioni delle condizioni ambientali. Mano a mano che lo scavo procede, lo stato di sollecitazione, così come l'esposizione del materiale archeologico, variano con continuità;
- Situazioni topografiche particolari. Negli scavi eseguiti su pendii, in avvallamenti o in cresta ai pendii vanno tenuti particolarmente sotto controllo i margini dove si possono innescare i già ricordati fenomeni di frana o accumulo di acqua superficiale, aggravati dalle stesse condizioni del sito;

- Presenza di materiali di accumulo. Il terreno estratto dal sito può essere accumulato in punti in cui sollecita in maniera imprevista le strutture o può essere soggetto a frane e colate che possono invadere il sito;
- Diversa consistenza delle stratigrafie. Strati molto teneri o inconsistenti devono essere consolidati protetti o rimossi rapidamente per impedirne la degenerazione entro i limiti dello scavo nonché la penetrazione in profondità dell'acqua;
- Strutture di protezione inadeguate. L'inadeguatezza può essere dovuta all'assenza di confinamento laterale, all'insufficienza delle strutture a far fronte ai carichi a causa di una progettazione frettolosa o di nessuna progettazione, alla presenza di manti di copertura traslucidi, ecc. (cfr. cap. 5);
- Carenze di progettazione funzionale: sporti di gronda troppo ridotti, assenza di un manto coibente o impermeabile, scarico delle acque piovane direttamente in mezzo ai resti o in pozzetti disperdenti;
- Carenze di progettazione strutturale: sostegni e fondazioni delle strutture disposti senza rapporto con la struttura archeologica;
- Realizzazione di una copertura con conseguente creazione di un microclima sfavorevole alla conservazione.

Uso incongruo. L'organizzazione di spettacoli o eventi in un sito archeologico lo espone a pressioni concentrate di pubblico che spesso non è in grado di sopportare. Inoltre l'adeguatezza in termini di standard di sicurezza e servizi al pubblico può da un lato non essere sufficiente, dall'altro richiedere interventi di adeguamento di tale entità da snaturare il rudere. L'uso incongruo si verifica anche quando il sito diventa solo un prezioso arricchimento di uno spazio contemporaneo (chiesa, negozio) da cui si mantiene avulso;

Politiche gestionali inadeguate. Una ricorrenza ufficiale o la visita di personalità viene fatta coincidere con interventi non pienamente documentati, frettolosi o tesi a dare risalto solo ad un certo numero di valori del sito;

"Colonialismo culturale". Questo tipo di rischio si manifesta nei siti dove gli scavatori non sono locali o dove un interesse prevale su tutti gli altri e quindi c'è il rischio che vengano intraprese politiche conservative e/o ricostruttive invadenti, finalizzate ad esempio allo sfruttamento turistico o non rispettose della cultura locale. Può anche coinvolgere il patrimonio ambientale a causa della costruzione delle infrastrutture necessarie per raggiungere il sito o per ospitare i visitatori laddove si rinvergono potenziali commerciali elevati;

Fissità dei piani gestionali. Le strategie di mantenimento e promozione del sito devono essere progressivamente aggiornate nel corso del tempo per far fronte alle nuove esigenze fisiche e spirituali del sito e dell'uomo mantenendo l'organicità del programma.

2.3 Vulnerabilità

La vulnerabilità è definita come la propensione del manufatto ad essere danneggiato o a degradarsi a causa di agenti esterni, dunque dipende dalle caratteristiche intrinseche del manufatto e dalle sue condizioni di degrado. Le condizioni e le tempistiche tramite le quali un edificio è giunto sino a noi, distruzione traumatica o lento abbandono, seppellimento per un certo tempo o costante esposizione agli agenti atmosferici, sono determinanti nella definizione della sua vulnerabilità in quanto rudere. È proprio in base a queste vicissitudini che il rudere ha raggiunto, o deve ancora raggiungere, un “minimo strutturale” rispetto al quale il funzionamento statico è sostanzialmente sicuro e le azioni agenti sulle strutture sono del tutto compatibili con le sue ridotte risorse.

Il concetto di vulnerabilità di un edificio è di solito ricondotto all’ambito sismico ma il concetto può essere esteso anche ad altre azioni ambientali (D’Agostino et al. 2009) tanto da poter essere chiarito come «la sua predisposizione ad essere danneggiato o dal suo stesso stato di degrado (fino al collasso) o da un possibile evento ambientale (terremoto, frana, alluvione) o antropico (demolizione voluta o accidentale, eccesso di frequentazione)». Anche le procedure di scavo sono in grado di influenzare il comportamento dei materiali archeologici e determinare il successo o meno delle successive operazioni di conservazione (Marino 2009).

La vulnerabilità intrinseca dei ruderi è connessa al livello di sicurezza accettato da chi aveva concepito e costruito questi edifici, che è ovviamente diverso dal livello di sicurezza oggi accettabile, e del resto le forme consegnate dalla storia sono quelle “sicure” rispetto a tutte le azioni che si possono verificare sul costruito archeologico. L’intervento quindi acquisisce un senso nel momento in cui riduce la vulnerabilità aggiunta ad esempio dal degrado o da situazioni occorse nel corso del tempo.



Figura 2.17: Alcuni elementi di vulnerabilità strutturale individuabili a Pompei: a) “tracce impiantistiche” nelle murature (cadute di antichi pluviali in terracotta); b) elementi murari snelli e non collegati; c) elementi verticali snelli; d) mancanza di ammorsamento ai martelli murari

Una procedura per il calcolo della “vulnerabilità archeologica” di un sito è stata proposta da Laurenti (2006) e comprende gli elementi costruttivi e decorativi del bene, una valutazione delle loro condizioni ed il relativo giudizio espresso da un valore numerico. Sostanzialmente si tratta di un metodo semiotico (Cfr. Cap. 9) con una scheda a punteggio.

Tabella 2.1: Componenti dell'indice di vulnerabilità archeologica (da Laurenti 2006)

Categoria	Variabili	Parametri valutati
Elementi costruttivi e decorativi	Fondazioni	Originalità; presenza di: danni strutturali, disgregazione, umidità, attacco biologico, alterazioni superficiale; mancanza di parti
	Strutture in elevazione	
	Orizzontamenti	
	Coperture	
	Scale e collegamenti verticali	
	Pavimentazioni	
Aspetti antropici	Rivestimenti e decorazioni	
	Uso	conservazione in uso, non usato, in abbandono
	Manutenzione e sistemi di protezione	Presenza/assenza
	Sistemi di sicurezza	Tipo, continuità
Impianti	Deflusso dell'acqua	Efficienza
	Smaltimento dell'acqua	Adeguatezza
	Coperture di protezione	

Con riferimento ai fattori di pericolo individuati in precedenza, è possibile individuare i seguenti fattori di vulnerabilità del sito archeologico.

Fattori geomorfologici. Dipendono da situazioni non attribuibili a cause antropiche oppure dovute a scelte inadeguate nel corso dello scavo. Le prime consistono nella struttura geologica e morfologica del territorio nelle vicinanze del sito e la sua propensione ad essere eroso o a franare a causa della penetrazione di acqua (eventi di superficie) o a cedere per effetto delle acque di profondità (eventi profondi). Le seconde sono relative alle modalità di esecuzione materiale dello scavo, se questo procede in profondità, e all'accumulo del terreno: l'assenza di protezioni o le pareti verticali sono tutti elementi di predisposizione al danno;

Fattori strutturali. Dipendono dalla configurazione assunta nel tempo, dal tipo, dalle dimensioni dal materiale e dallo stato di conservazione della struttura, dagli effetti di e dall'interazione di questa con lo scavo. In rapporto alla concezione originale di questi edifici i carichi rilevanti sono ritenuti le sole azioni gravitazionali e meteoriche, i carichi variabili hanno senso solo per strutture aperte al pubblico;

Fattori geotecnici. Dipendono dall'interazione tra la struttura e la capacità portante del terreno che varia in funzione del contenuto di acqua; l'interazione si manifesta in genere in fenomeni di dissesto e lesioni che interrompono la continuità fisica delle strutture;

Fattori idraulici. Sono determinati dalle caratteristiche fisiche del manufatto, dalla collocazione altimetrica e planimetrica rispetto a corsi d'acqua, dalla natura del suolo in termini di permeabilità del terreno e della profondità della falda e dall'ambiente fisico in genere;

Fattori ambientali. Fa riferimento alle capacità aggressive nei confronti del materiale proprie del contesto territoriale e ambientale in cui risiede il sito/reperto;

Fattori sismici. È opinione condivisa che l'architettura allo stato di rudere — inteso come resto rimasto esposto da qualche secolo — sia generalmente poco vulnerabile all'azione sismica, poiché le parti instabili e più deboli dovrebbero essere già crollate in occasione dei vari eventi che l'hanno colpita nel corso della sua storia; sembra anche che i ruderi più alti (>4 m) siano più che altro esposti agli eventi eccezionali atmosferici piuttosto che al sisma;

Fattori termoigrometrici. La sensibilità del materiale ai cicli termici e igrometrici è dovuta essenzialmente alla sua porosità e alla presenza di fratture in cui può accumularsi l'acqua o il vapore;

Fattori antropici. La posizione del sito rispetto agli insediamenti umani ne determina la predisposizione ad essere travolto dalla espansione della città o essere negletto o abbandonato se posizionato in un contesto rurale o in via di spopolamento: in entrambi i casi ne risente lo stato di conservazione del bene;

Fattori connessi allo scavo. La predisposizione del sito a subire degrado, se non danno, nel momento in cui viene percepito dalla comunità come un ostacolo o area abbandonata e non come una parte del proprio passato;

2.3.1 Vulnerabilità sismica del costruito archeologico

Nei primi anni Novanta parte della comunità scientifica ha proposto di escludere i siti archeologici dalle prescrizioni della normativa sismica; successivamente la proposta è stata estesa anche agli edifici in uso ma sottoposti a vincolo monumentale. Il conflitto tra esigenza di conservazione dell'autenticità delle strutture e dei materiali e la sicurezza degli utenti e delle infrastrutture ha portato all'attuale doppio regime in campo sismico, espresso dalle D.M. 17/01/2018, *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni* (di seguito denominate NTC 2018) per le costruzioni nuove e dalle D.P.C.M. 09/02/2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008* (di seguito denominate DPCM 9/2/11) per quelle esistenti vincolate. Di questo secondo gruppo, i ruderi archeologici rappresentano un caso particolare, poiché essi, nel corso della loro esistenza, hanno sopportato innumerevoli prove della loro capacità di resistenza che la ha portato a raggiungere il minimo strutturale, licenziando tutte le parti deboli e vulnerabili al sisma. Tale consapevolezza non esime tuttavia dalla verifica di sicurezza prevista dalla normativa speciale. Un discorso a parte merita quanto può essere classificato come rovina archeologica estratta dal terreno: in questo caso non è sicuro che le strutture abbiano già raggiunto la stabilità interna ed essere quindi caratterizzate da una vulnerabilità minima.

La vulnerabilità sismica è determinata da due componenti, intrinseca ed estrinseca all'edificio. La vulnerabilità intrinseca corrisponde in primo luogo al criterio di sicurezza accettato da coloro che per primi hanno costruito l'edificio e da chi in seguito è intervenuto su di esso, pertanto interventi strutturali rivolti alla correzione di questo genere di vulnerabilità alterano in modo significativo parti caratteristiche del monumento e possono andare in contrasto con i principi del restauro. L'altra componente è dovuta alle condizioni di degrado cui è sottoposto l'edificio, che aumentano nel tempo e con l'assenza di manutenzione. In edifici dove l'aspetto storico-materiale è importante è più utile intervenire su questo

secondo aspetto che sul primo. In questo senso la vulnerabilità non assume un valore fisso ma varia nel tempo: tendenzialmente è crescente, ma si può ridurre in occasione di interventi sulla struttura (Corsanego 1995). La vulnerabilità estrinseca dipende invece da fattori esterni all'edificio, quali la consistenza del terreno per gli ultimi 10-30 m al di sotto dell'edificio o le condizioni topografiche su cui sorge, che normalmente vengono tradotti in un aumento della pericolosità di base.

L'entità degli interventi per mettere in sicurezza le persone o il valore culturale dell'edificio possono essere talmente invasivi da compromettere gli stessi valori culturali che si cercava di proteggere: in tali casi la soluzione più appropriata può essere una semplice regolamentazione dell'accesso e la predisposizione di percorsi a debita distanza (Conforto e D'Agostino 1995; Corsanego 1995).

Una volta stabiliti gli usi del sito, vanno individuati parametri (materiali, terreno, dati metrici, fonti storiche, quadro fessurativo) che servono a definire la vulnerabilità ed eseguire la valutazione di sicurezza. Se l'esito della verifica è positivo non c'è alcuna giustificazione a modificare l'assetto delle strutture così come il tempo le ha tramandate perché la correzione sarebbe indebita anche dal punto di vista strutturale (D'Agostino e Melucco Vaccaro 1996).

Nello studio della vulnerabilità dei ruderi le *Linee Guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico* riconoscono un ruolo fondamentale alla conoscenza per la definizione del comportamento delle strutture e, ai fini della verifica di sicurezza, l'importanza delle analisi per cinematismi di collasso, la cui applicazione secondo Gasparoli et al. (2013) è agevolata dal fatto che nel rudere sono più evidenti i meccanismi passati o in atto. I ruderi e le rovine sono infatti caratterizzati dalla presenza di elementi snelli e isolati (murature, colonne) solo blandamente legati ad altre strutture trasversali in grado di offrire una resistenza in direzione al sisma. Ciò li rende particolarmente vulnerabili ai meccanismi di primo modo, ai quali è dovuto peraltro il massimo grado di danno fisico alla materia, poiché il ribaltamento comporta la perdita di integrità della parete.



Figura 2.18: Schema di comportamento al sisma di murature isolate o collegate da murature trasversali o coperture

2.4 Esposizione

Terza componente del rischio è l'esposizione, cioè l'entità dei beni esposti a perdita in conseguenza di uno o più pericoli che possono interessare il territorio. Il pericolo per gli edifici ordinari è inteso come quello sismico ma, nel caso del patrimonio archeologico, il numero di fattori aggressivi è più ampio, in conseguenza della maggiore delicatezza dei

materiali. Inoltre sul sito archeologico i beni culturali sono rappresentati sia dalle strutture, sia da tutti i materiali in essi rinvenuti, compresi gli strati di finitura (mosaici, pavimenti e affreschi). Perciò l'elenco di beni esposti comprende sia strutture sia finiture, dove le prime sono chiaramente esposte più direttamente al sisma, le seconde ai fattori ambientali e climatici e solo di riflesso, attraverso le strutture, al danno sismico.

Le strutture che sono il risultato di uno scavo sono in genere di più modeste dimensioni ed entità dei ruderi facenti parte del paesaggio culturale italiano da secoli. Lacerti murari la cui altezza sia inferiore a 2,5-3 m non pongono particolare problemi di sicurezza dal momento che il loro collasso è essere un evento abbastanza raro e non comporta rischi troppo gravi per il visitatore. L'esistenza stessa di ruderi visibili di discrete dimensioni testimonia per la relativa stabilità del territorio e anche per quella delle stesse strutture sopravvissute (D'Agostino e Melucco Vaccaro 1996).

La valutazione dell'esposizione passa attraverso l'individuazione dei beni a rischio nel territorio, anche solo a livello tipologico. Già Liberatore et al. (2003) avevano individuate categorie di strutture archeologiche di comportamento simile, recentemente aggiornate dalle *Linee Guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico* (Gasparoli et al. 2013). La conoscenza della distribuzione delle categorie di beni permette di eseguire valutazioni di rischio a scala territoriale. Si riconoscono in particolare, senza peraltro distinguere se si tratta di manufatti compiuti, ricostruiti per anastilosi o ruderi, i seguenti gruppi di manufatti:

Sistemi strutturali a sviluppo lineare e infrastrutture. In essi, oltre alla forma è importante anche la tecnica costruttiva, che può variare dalla terra cruda (es. mura di Gela), all'opera poligonale lapidea (es. Ferentino), dalla pietra da taglio tenera o silicea (es. mura di Perugia), alla camicia in laterizio con riempimento interno in calcestruzzo.

- Ponti
- Acquedotti
- Cinte difensive

Strutture ad arcata singola. Si tratta di strutture megalitiche di pietra non lavorata o di strutture a carattere monumentale e celebrativo per lo più isolate da altre costruzioni o al più inserite in un muro di cinta.

- Menhir, dolmen
- Archi trionfali
- Porte di accesso

Strutture a blocchi isolati verticali. Sono caratterizzate da blocchi in pietra da taglio ben rifiniti e combacianti da cui possono essere stati sottratti gli elementi metallici che facevano da legatura.

- Colonne onerarie
- Colonnati e porticati
- Templi

Strutture derivanti da scatole murarie. Si tratta dei lacerti di edifici la cui consistenza, in termini dimensionali ma anche di qualità dei materiali, dipende dalla natura della struttura originale. Le murature in grandi blocchi posati a secco di solito non presentano sofferenze di rilievo, al contrario le murature in terra cruda sono assai delicate e richiedono un'immediata protezione, anche dalla stessa variazione di umidità e temperatura dovuta allo scavo. Le murature con malta hanno tutti i problemi della muratura, anche se la muratura romana è in genere più compatta, grazie alla malta di migliore qualità, di quella medievale.

- Edifici privati: case a corte, *insulae* di tipo ostiense, ville, fattorie, ecc.
- Edifici pubblici: terme, mercati,

Edifici per lo spettacolo. Sono edifici la cui forma è abbastanza vantaggiosa rispetto alle azioni sismiche e la cui costruzione è particolarmente solida a causa degli ingenti carichi di progetto. Nella concezione originale tuttavia le murature di molte parti (ambulacro più esterno, fronte scenico) sono caratterizzate da elevata snellezza che ne ha facilitato la scomparsa.

- Teatri, per le parti fuori terra quali il fronte scenico e la cavea dove non ricavata dall'avvallamento del terreno
- Anfiteatri, per le parti sveltanti, in genere dell'ambulacro più esterno

Suolo. Rappresentando il collegamento tra la stratigrafia di interesse archeologico e la sua estensione di fatto, merita di essere conservato e adeguatamente protetto, qualora sia noto che al di sotto ci possono essere strutture nascoste non ancora indagate o individuate, e all'intorno si debba procedere con altri cantieri, opere o anche solo si decida di non fare nulla. Il calpestio e operazioni meccaniche inavvertite, il dilavamento o l'erosione possono compromettere l'integrità dell'informazione stratigrafica o eventuali strutture ancora non portate alla luce, comportando una perdita di informazioni e aumentando i costi della futura conservazione.

Per quanto riguarda gli strati di finitura si ricordano:

Intonaci. Sono parti dell'edificio molto delicate, specialmente se si tratta di intonaci interni decorativi, che tuttavia offrono molte indicazioni sui materiali, la datazione e il ruolo della costruzione oltre ad essere un termometro assai sensibile delle condizioni di conservazione dell'edificio. La situazione diventa ancora più delicata se sugli intonaci sono presenti pitture a fresco o a secco, di cui va accertata la natura e lo stato di conservazione, oltre alle primissime azioni di messa in sicurezza

Pavimentazioni. Vista la loro superficie e l'esposizione, dal momento che mancano le coperture della struttura archeologica, sono le parti in genere più esposte. I tipi rinvenibili sono, in ordine di resistenza, di solito mosaici; *opus signinum* o *sectile* e cocciopesti; battuti di terra e/o malta. tali materiali sono sensibili all'acqua, alla risalita di umidità dal suolo (deposito di sali) al gelo (fratturazioni), all'esposizione al sole (alterazione del colore e del materiale), alle sollecitazioni indotte dai visitatori o dallo scavo o alla natura del terreno (usura, avvallamenti) nonché agli interventi eseguiti con tecniche incompatibili, quali i rappezzi con malta di cemento, più rigida

dell'intorno, che tende pertanto ad allargare la parte mancante. La matrice può presentarsi decoesa, lacunosa o incapace di fornire un adeguato ancoraggio. Anche l'interazione con le murature antiche può essere problematica, perché queste tendono ad affondare nel terreno, lesionando il pavimento lungo il perimetro (Michaelides 2003; Pedeli e Pulga 2002);

Reperti mobili. Sono distinti secondo le dimensioni (piccole, medie grandi) e secondo la forma di ritrovamento, specie per i reperti piccoli e medi che può essere a) frammentaria e sparsa nel suolo; b) schiacciata e solidamente legata al terreno c) entro contenitori più o meno frantumati; d) in combinazione delle precedenti (Pedeli e Pulga 2002). I reperti grandi sono invece rappresentati da elementi in pietra lavorata e dalle strutture edilizie sepolte.



Figura 2.19: La conservazione delle pavimentazioni in sito, come quelle assai delicate in *opus signinum* del sito di *Fregellae*, comporta particolari accortezze (da [1])

2.5 Gli effetti: degrado e dissesto

Il degrado è il naturale e irreversibile processo di continua trasformazione della materia complessa in sostanze più semplici e stabili. In altre parole è il verificarsi di alterazioni e trasformazioni, intese come perdita di qualità o di proprietà fisico-chimiche, quale effetto delle interazioni spontanee dei materiali con gli agenti caratterizzanti l'ambiente in cui si trovano (Francovich e Manacorda 2006). Ogni prodotto dell'attività umana ha una realtà materica, che si presenta oggi come effetto delle numerose e complesse relazioni che si sono stabilite fra i materiali costitutivi e gli ambienti in cui questi oggetti sono entrati in contatto dal momento della loro fabbricazione al loro ritrovamento. Il degrado del bene archeologico testimonia quindi la somma delle vicende che lo hanno interessato fino a

quel momento in un documento unico e irripetibile, la cui conoscenza può anche comportare delle alterazioni irreversibili. I materiali inorganici sono in genere più resistenti di quelli organici ma le murature sono soggette ai più diversi dissesti statici, in particolare legati al degrado delle malte o alla scarsa resistenza intrinseca dei materiali costituenti (muri in terra o in mattoni crudi) o alla loro propensione a deteriorarsi (legno). Dopo l'abbandono delle strutture questi vengono a trovarsi in un nuovo ambiente, caratterizzato da diverse condizioni fisiche (umidità, pressione, temperatura), chimiche (minore quantità d'ossigeno, acqua, sali, pH...), biologiche (presenza di microrganismi, insetti, animali, vegetazione). Queste ultime in particolare sono quelle in grado di determinare le alterazioni maggiori perché la loro presenza influisce sulle condizioni chimico-fisiche o avvia ulteriori fenomeni di degrado. In queste nuove condizioni i materiali tenderanno a raggiungere un nuovo stato di equilibrio stabile, quando anche il degrado si sarà arrestato. Il passaggio del bene ad un ambiente nuovamente aerobico con lo scavo determina una nuova improvvisa variazione delle condizioni ambientali in cui le componenti più importanti sono la presenza della luce (fotossidazione) di aria (ossigeno, inquinanti, polveri, composti aggressivi) e la variazione di temperatura. Queste infatti riattivano i movimenti dell'acqua e di conseguenza dei sali i quali, cristallizzando, aumentano di volume e contemporaneamente vista la loro igroscopicità attirano altra acqua nel materiale instaurando un circolo vizioso.

Il degrado è sostanzialmente indotto dall'acqua e dall'aria in concomitanza ad azioni fisiche (erosione, cicli termici), chimiche (dissoluzione e deposito di sali, composti aggressivi e reagenti coi materiali) ed a quanto è da esse veicolato sulle superfici dei materiali (polveri, microrganismi) (Laurenti 2006). L'inquinamento può essere inteso come l'accumulo di reagenti nell'aria, di origine naturale, come nel caso dell'aerosol marino, ma più spesso di origine antropica, sia a larga scala sia alla piccola scala di un ambiente confinato affollato in cui si accumulano anidride carbonica e umidità, provocando la precipitazione di acqua acidula che corrode i materiali; anche il processo di adesione ai materiali degli inquinanti dipende dall'umidità e dalla loro concentrazione.

Il degrado superficiale è un processo (Tano 2004) al quale partecipano agenti chimici e fisici ed è influenzato dalla struttura della pietra (venature, consistenza, porosità). Gli agenti atmosferici in azione sinergica (pioggia, vento, insolazione diretta, cicli di gelo/disgelo) alterano la superficie della pietra o comunque dei materiali archeologici rendendola più porosa e fratturata, favorendo la ritenzione idrica, il trattenimento di sporco, l'adesione di inquinanti e residui di vario genere che poi sono di supporto alla proliferazione biologica di alghe muschi e piante di vario genere. Il degrado fisico conduce ad una perdita di coesione dei grani del materiale e conseguentemente ad una riduzione della capacità meccanica (almeno negli strati più superficiali) mentre gli agenti biologici spesso traggono nutrimento dalle componenti minerali delle strutture archeologiche e rilasciano in compenso enzimi o acidi corrosivi. Le piante superiori attraverso le radici esercitano sia un'azione disgregante per effetto della loro crescita sia un'azione di contenimento degli elementi allentati dalla loro stessa crescita.

Gli elementi lapidei lasciati esposti, ad esempio dopo uno scavo archeologico, subiscono un'alterazione dei loro strati più superficiali che passano da un ambiente totalmente minerale ad uno in cui la percentuale di materia organica è via via in crescita e così anche la superficie da liscia diviene sempre più porosa e permeabile. Si parla di "successione ecologica" cioè della progressiva colonizzazione da parte di microrganismi autotrofi

(cianobatteri e alghe in ambienti molto umidi) o eterotrofi che sfruttano i composti dello zolfo o dell'azoto per la propria sussistenza, le cui generazioni, accumulandosi nel tempo assieme ai prodotti della loro attività, crea il substrato per la crescita di organismi via via più complessi quali licheni, funghi e poi piante inferiori (muschi, epatiche) e superiori infestanti, che poi offrono protezione e cibo a diverse forme di animali (insetti, uccelli).

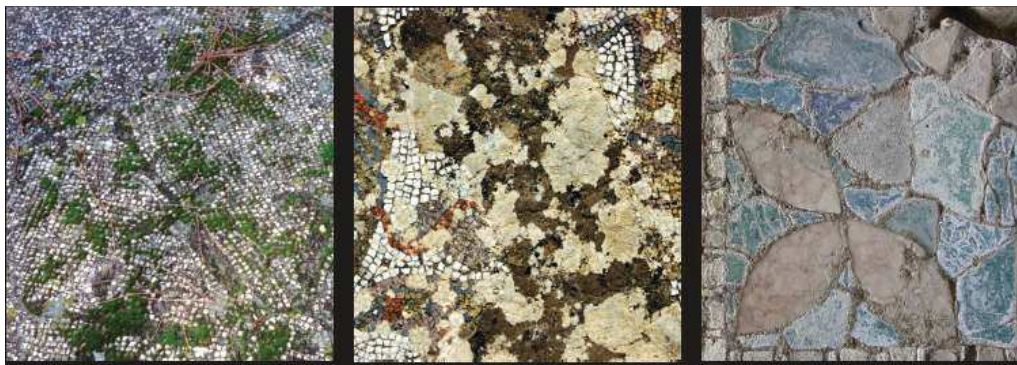


Figura 2.20: Diversi tipi di degrado di pavimentazioni a mosaico (da Laurenti 2006)

Il flusso libero dell'acqua sulle superfici causa dilavamento, erosione, deposito di materiale e comunque l'ingresso nelle soluzioni di continuità dove poi potrebbe congelare con conseguente aumento volumetrico. Anche i materiali apparentemente più uniformi come il marmo possono sviluppare lesioni e interruzioni se lasciati esposti per lunghi periodi o per effetto dei più diversi accidenti storici.



Figura 2.21: Deposito gravitazionale di particelle su rilievi marmorei e statue (da Camuffo 2014)

I fenomeni di degrado riconducibili al microclima interno ai beni culturali edificati e agli effetti della fruizione derivano nella maggior parte dei casi da: a) esposizione diretta e prolungata alla luce solare; b) esposizione diretta a lampade dell'allestimento museale, che determina il surriscaldamento dei materiali o il loro sbiadimento e possono alterare la

percezione; c) deposito di particelle veicolate dall'aria che è in genere condizionato dai flussi d'aria esistenti all'interno dell'ambiente chiuso o dalla presenza di ostacoli al moto dell'aria lungo le superfici o dalle differenze di temperatura tra gli oggetti, le superfici e l'aria, anche minime, indotte ad esempio da una lampada; d) differenze di temperatura e di umidità relativa che determinano fenomeni di evaporazione e condensazione con l'accumulo di sali solubili e efflorescenze, ossidazioni, rigonfiamenti e restringimenti dei materiali che possono indurre tensioni, colonizzazione di microrganismi, ecc. (Camuffo 2014).

Infine esiste il degrado di origine antropica, generato da un uso inappropriato del sito, volontario o involontario, quando il sito è riconosciuto come tale oppure quando quest'ultimo risulta essere più che altro un'area abbandonata o illogica — quasi un "buco" — rispetto al tessuto urbano o suburbano circostante (Fig. 2.22).



Figura 2.22: Degrado generato dall'uomo in aree archeologiche illogiche rispetto al contesto: accumulo di rifiuti e assenza di manutenzione

La naturalità o la patogenicità del degrado dipendono dai tempi con cui avviene: situazioni di rapida evoluzione dipendono più che altro da errori di progetto o realizzazione e tendono rapidamente a generare un danno. Si tratta comunque di una condizione fisiologica delle strutture e, come tale, non sempre richiede interventi correttivi e in ogni caso non può essere mai del tutto eliminata. In particolare, nel caso di beni culturali archeologici, non è scontata la legittimità della rimozione di patine e segni che a tutti gli effetti sono manifestazione visibile della storia e delle vicende dell'oggetto (Cecchi e Gasparoli 2010). Il danno strutturale è invece una fratturazione degli elementi strutturali che può essere indotta da fenomeni termici; carichi statici (gravitazionali, cedimenti del terreno, rigonfiamento o deterioramento di elementi di collegamento quali perni e catene, gelo); azioni dinamiche (sismi, impatti, atti vandalici e volontarie distruzioni). I fenomeni di danno non riguardano solo i materiali scavati ma anche la matrice da cui vengono estratti. I fronti di scavo non protetti possono essere soggetti a dilavamento, erosione o piccole frane, indotte dall'azione di acque superficiali non irregimentate, tutti i fenomeni che poi si ripercuotono sul sito con accumuli di materiale, invasione di acqua, spinte orizzontali ecc. Per tali motivi vanno adeguatamente controllati anche gli accumuli del terreno di scavo, sia in sé che nella posizione rispetto al sito, poiché il terreno lavorato è meno compatto e più permeabile di quello in posizione indisturbata. Ancora Marino (2009) offre una panoramica dei fenomeni di danno sulle strutture archeologiche:

- Perdite di allineamento verticale o orizzontale delle murature. Sono dovute a cedimenti differenziali del terreno o spinte non contrastate delle terre lasciate in opera durante o dopo lo scavo.
- Rotazioni e slittamenti. Sono dissesti molto evidenti nelle strutture a grandi blocchi di pietra, ma sono osservabili anche in murature dove la malta sia sufficientemente tenace, dovuti perlopiù all'azione del sisma o del vento ma non mancano casi di manifestazioni di questo tipo anche in fase statica, in conseguenza di scavi o manomissioni incauti.
- Cedimenti di base. Possono essere dovuti sia a terreni di fondazione inadeguati sia a scavi che si spingono al di sotto o troppo vicini alle murature sopravvissute
- Disgregazione delle creste murarie. Il fenomeno è indotto dall'azione meteorica dall'alto che infiltrandosi nella muratura la disgrega progressivamente: per sua natura esso prosegue fino al piede della parete;
- Franamento di murature. Possono accadere in murature formate da elementi resistenti di piccola pezzatura, legati con malta di scarsa qualità o ormai incoerente tanto in elevazione che fuori terra;
- Interazioni tra parti rinforzate e non rinforzate o puntellamenti. L'intervento di rinforzo o di restauro spesso usa, inconsciamente, materiali nuovi, pensati per proteggere o ricucire i lacerti. Tali materiali sono in genere troppo rigidi o resistenti di quelli antichi e sono pertanto questi ultimi a subire la maggior parte dei danni, con lesioni lungo le interfacce, deviazione dell'acqua nei materiali più porosi, erosioni ecc. L'accostamento di strutture realizzate con materiali molto diversi e quindi rigidità diverse è in genere causa di martellamento.
- Interazione con le strutture provvisorie. Puntelli, tiranti e sbadacchiature servono a fare sicurezza nell'immediato, tuttavia, se si ritiene di mantenere in opera tali strutture per un tempo relativamente lungo è necessario valutare prima come interagiscono con le strutture archeologiche. L'elenco di fenomeni indesiderati/indesiderabili comprende lascamento dei sistemi di ritegno (effetti termici, perdita del tiro, corrosione degli elementi), punzonamento da parte del puntello (cedimento locale, dilatazione termica) sia nella muratura puntellata che nel punto di appoggio, carichi verticali concentrati
- Degrado di elementi strutturali. La marcescenza di architravi lignei e la rottura di quelli in pietra oppure ancora il collasso a compressione di pilastri e colonne che ne determinano l'inefficacia, compromettono anche la stabilità della compagine muraria soprastante e pertanto va valutata con attenzione
- Perdita del comportamento scatolare. Ammesso che la qualità originale degli ammoramenti fosse sufficiente, quando vengono rinvenute le murature sono frammentarie e per lo più isolate e lo scavo non migliora questa condizione; il collegamento non deve essere rigido al punto da risultare incompatibile con l'elevata deformabilità di questo tipo di murature.

2.6 Osservazioni finali

I materiali archeologici, sia nel corso dello scavo sia nella eventuale fase di esposizione *in situ* a valle di un intervento di valorizzazione, sono esposti a molteplici rischi di diversa origine ed entità.

Le principali fonti di rischio per il sito archeologico sono rappresentate dagli agenti atmosferici — sole, vento e acqua, in tutte le sue forme, in massima parte — e da fattori antropici — principalmente dinamiche di popolazione e l'interazione tra il sito e la vita urbana circostante —; situazioni di pericolo generate da fattori geofisici sono legate più che altro a movimenti del terreno a piccola scala — frane, smottamenti dei fronti di scavo o dei pendii — e in minor grado al sisma.

L'acqua assume infatti un ruolo determinante nel veicolo del degrado e del dissesto, a partire dal trasporto di sali solubili e dalla creazione di ambienti favorevoli alla colonizzazione di microrganismi, per arrivare all'erosione del terreno e dei materiali archeologici o anche all'allagamento del sito. Le dinamiche sociali ed economiche sono determinanti ai fini della vivacità e della manutenzione del sito e dei suoi fragili materiali in grado di supportare autonomamente un'ulteriore fase di esposizione all'aperto. In questo panorama, il sisma rappresenta un rischio non prioritario poiché si ammette che le strutture storiche hanno subito il "collaudo del tempo" e quindi quelle che sopravvivono sono di fatto in equilibrio con le azioni che si possono verificare in un certo territorio. Ciò può essere vero per i ruderi, da lungo tempo esposti alle azioni ambientali, meno per le rovine estratte dallo scavo. Tuttavia non si può legittimamente ignorare di accertare il margine di sicurezza di cui ancora dispongono tali strutture.

La vulnerabilità dei siti è determinata dall'essere resti di strutture edilizie prive degli elementi che ne garantivano in origine la protezione dalle intemperie — tetto, sistemi di drenaggio, ecc. — o dal trovarsi in condizioni morfologiche svantaggiate — ribassamento rispetto alla quota moderna, eccessiva vicinanza al mare o a fiumi, ecc. — che si sono venute a determinare nel corso del tempo.

L'esposizione infine è determinata dal tipo di strutture archeologiche rinvenibili in un territorio, dipendenti dal livello di antropizzazione dello stesso in epoca antica. Le reti infrastrutturali e i grandi edifici lasciano in genere tracce ben visibili, e alcuni sono in uso ancora oggi, e questi in genere non prevedevano in origine o hanno perso nel corso del tempo tutti gli elementi deteriorabili o più instabili. Al contrario le abitazioni, con le loro strutture più esili, lasciano tracce più incerte ma di gran lunga più delicate, perché spesso completate dagli strati di finitura dell'architettura — pavimentazioni, mosaici, affreschi — e dai manufatti di uso quotidiano.

Capitolo 3

Gli interventi sul sito: dallo scavo alla musealizzazione

L'operazione di scavo è due volte distruttiva perché distrugge ciò che indaga, smontandolo, ed espone al degrado i resti che decide di lasciare intatti. I materiali che restano esposti hanno un significato per loro stessi ma più spesso il significato è loro associato dal soggetto che ne fa esperienza; di conseguenza il senso della rovina archeologica varia nel tempo (nel senso di età storica) e nello spazio. La natura stessa della disciplina archeologica, nell'approfondimento della conoscenza e nell'espansione della ricerca, determina cambi di significato, anche di quanto è già stato scavato. Infine le procedure utilizzate per garantire la sopravvivenza fisica e per consentire la fruizione dei beni li alterano in quanto determinano variazioni al senso primo, come era stato determinato dallo scavo, sia che tali procedure prevedano di lasciarli là dove sono stati rinvenuti sia che li rimuovano per portarli al riparo.

Il capitolo ripercorre le principali posizioni teoriche in merito al significato e alle implicazioni dell'intervento sul sito archeologico, i suoi obiettivi e le strategie proposte nel corso del tempo.

3.1 L'intervento sul sito archeologico

Per un certo tempo si è diffusa la convinzione di poter superare le inevitabili ed intrinseche difficoltà teoriche e metodologiche del restauro attraverso la "conservazione" intesa come semplice prassi tecnologica di esso. In realtà non è possibile evitare le responsabilità che l'intervento sull'esistente comporta, né dal punto di vista materiale né dal punto di vista culturale, poiché chi interviene è gioco forza obbligato ad operare delle *scelte* cercando di contemperare i valori riscontrabili sul campo, espressi dalla ricerca scientifica e dalla popolazione. L'intervento pertanto assume sempre un connotato etico (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Tuttavia anche la sola individuazione di un oggetto come bene culturale, comporta che quella cosa, quando viene sottratta al mondo degli oggetti in uso, perda almeno in parte il proprio significato e ne acquisisca altri, aggiunti anche per compensare quanto viene perso proprio con la perdita dell'uso (Avrami et al. 2010; Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). A ben guardare, non interessa l'oggetto in sé, ma quel qualcosa in (o

di) esso che rimanda a ciò che si vorrebbe davvero ricordare, e questo sottile richiamo è ciò che in realtà si vuole conservare e sviluppare attraverso la trasmissione dell'oggetto (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). La designazione di un bene o sito quale patrimonio culturale consegue ad una valutazione di esso, vale a dire al riconoscimento di un certo valore ai medesimi, e ad essa quasi automaticamente corrisponde una valorizzazione, cioè il riconoscimento di altri significati e valori (Avrami et al. 2010).

Nel processo di conservazione l'oggetto e suoi significati culturali si modificano, da un lato a causa dell'evoluzione dei valori in seno alla società che li esprime, dall'altro perché gli stessi interventi che consentono di esprimere tali valori (musealizzazione) li alterano (Avrami et al. 2010; Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). La delicatezza di questa operazione è tale da affermare che «conservare è un obbligo morale ma musealizzare no, ed è quindi necessario chiedersi dove convenga farlo e se convenga farlo» (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

Nella mentalità pratica che caratterizza il mondo anglosassone, il riconoscimento del valore è il momento fondamentale del processo conservativo perché permette di stabilire il punto di contatto tra gli esperti e i più diretti interessati al bene (*stakeholders*) e il vasto pubblico, individuando i contenuti del bene da trasmettere e le modalità con cui è possibile farlo così da stimolare il più possibile la fantasia dell'osservatore (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004)¹. Il rapporto che si instaura tra il bene e i potenziali fruitori, e in particolare tra gli abitanti degli immediati dintorni del sito, è insostituibile per garantirne la sopravvivenza materiale, più di ogni intervento a carattere pubblico; questo comporta di dover accettare il fatto che nell'elenco di quanto fa parte del patrimonio possano anche non esserci capolavori ma oggetti più ordinari, il cui significato e valore possono essere più sentiti della vera opera d'arte (Avrami et al. 2010). Sul senso di partecipazione al bene culturale in effetti si gioca gran parte della partita sulla conservazione preventiva auspicata dai grandi teorici del restauro italiano (Brandi, Urbani) anche se questo può rendere più labili i confini tra cosa costituisce o meno bene culturale. Perché si abbia la tutela, in quanto salvaguardia e protezione dei beni e del loro ambiente dal degrado e dalla speculazione, la società deve poterli sentire svolgere un ruolo attivo, altrimenti rimane solo l'effetto di una sanzione amministrativa che inibisce qualsiasi trasformazione (Manacorda 2007). In fondo, il bene culturale non fruito è privato di gran parte del suo valore (De Marinis 1989; Ulisse 2009). Il rapporto del bene con il suo ambiente, sociale come si è appena visto, e storico-naturale è un'altra modalità per facilitare la trasmissione al pubblico di valori intrinseci altrimenti non esprimibili e di quelli immateriali dovuti relazioni con altri siti e al rapporto col paesaggio (ICOMOS 2010). Tuttavia è cosa ben diversa conservare un oggetto in un museo, conservarlo sul sito archeologico o conservare un intero scavo, sia per le condizioni di sicurezza per la delicata materia del bene culturale sia per le possibilità, tramite l'allestimento, di ristabilire i rapporti e i messaggi dell'oggetto.

Manacorda (2007), per stabilire le reali possibilità di conservazione dello scavo, suggerisce di affidarsi alla sua capacità comunicativa: i resti di difficile percezione persino per l'archeologo daranno il meglio di sé nella documentazione e potranno essere rinterrati, mentre le strutture edilizie che abbiano ancora una certa capacità di suggerire l'organizzazione

¹Dice infatti N. Agnew: «The actual significance of historical sites and the information which they convey are somewhat remote from the public mind generally. I don't think it's something that leaps out and hits the public unless it is communicated. Certainly it's something that should be communicated — the inherent information that is locked into materials and the context of the site itself» cit. in Levin (1992).

degli spazi potranno rimanere esposte. In entrambi i casi è richiesto un vero e proprio progetto culturale, poiché la decisione se ripristinare il terreno dopo lo scavo o lasciare in vista i reperti è una decisione che ha ricadute sia sul futuro sviluppo dell'area — che a questo punto avrebbe un vincolo di inedificabilità —, sia sullo stesso scavo archeologico perché per poter presentare qualcosa di davvero leggibile al pubblico si dovrà forzatamente rinunciare a qualche parte della stratigrafia o scendere a compromessi con una riconfigurazione turistica (Manacorda 2007; Pedeli e Pulga 2002).

Nella scelta per l'uno o per l'altro modo influiscono la sostenibilità degli interventi e della presenza di visitatori sul sito, cioè se l'impegno economico sostenuto per la prima musealizzazione si traduca effettivamente in un rientro in termini educativi e anche economici e si perpetui nel tempo attraverso una adeguata manutenzione e gestione (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Tali concetti sono fatti propri anche dalla *Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage* (UNESCO 1990).

In quanto museo di sé stesso, sul sito, oltre ad un adeguato sistema esplicativo, possono essere realizzate anche ricostruzioni con finalità didattica, purché ne sia garantita la scientificità e la non interferenza con le rovine (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). In merito alla musealizzazione tuttavia, vale la pena di notare che non c'è unanimità della critica sulla reale legittimità di eseguire quanto necessario alla presentazione direttamente sul sito archeologico, a causa della fragilità dei materiali e delle alterazioni che comprometterebbero la possibilità di estrarre ulteriori informazioni. Tuttavia non c'è modo di mantenere il bene intatto, tanto da reintegrazioni fisiche (restauri) che concettuali (allestimenti museali) a meno di non scavarlo affatto: nell'impossibilità di ricoprire gli oggetti di una vernice trasparente che ne sigilli l'integrità fisica senza modificarne l'aspetto — ed è stata una ricerca che a lungo ha impegnato i restauratori — non potrebbe durare a lungo senza protezioni e adeguati accorgimenti, i quali comunque comportano una variazione sia delle condizioni fisiche sia di quelle fruibili.

Nella inevitabile scelta che si deve fare in merito all'intervento, tre sono i punti chiave secondo P. Philippot (cit. in Melucco Vaccaro et al. 1996): a) l'interezza, poiché le singole parti di un oggetto smembrato non hanno lo stesso valore dell'intero; b) il contesto, essenziale per la comprensione dell'oggetto poiché ne definisce la scala, l'ambito di creazione e uso; c) la storia, espressa dai segni del passaggio del tempo sulla materia che non è mai lecito cancellare. Nei ruderi la completezza dell'oggetto non è più una necessità, così come non lo è più una funzione (in linea molto generale), mentre rimane, molto di più che negli oggetti da museo o nella filologia, il problema delle lacune, cui tutte le osservazioni precedentemente esposte sulla conservazione e i successivi paragrafi di dettaglio possono essere ricondotte.

L'attuale tendenza a presentare, nel suo complesso, l'ambiente, la vita materiale e spirituale di un insediamento e quindi di ricondurre i manufatti alla società di appartenenza è ormai determinante anche nell'intervento sul sito archeologico (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). La non dislocazione dei reperti, mobili o immobili, e la loro conservazione in sito sono il frutto di tale coscienza allargata di bene culturale (conservazione integrata), perché l'oggetto rimane conservato nel suo ambiente e non necessita di una ricontestualizzazione nel museo, con tutte le integrazioni e strategie di presentazione del caso. Un'applicazione rigorosa di tale principio comporterebbe il mantenimento sul posto anche degli oggetti mobili e non solo di quanto non può essere rimosso dal sito archeologico, anche attraverso un allestimento che garantisca le esigenze di conservazione e sicurezza. Tuttavia può

essere sufficiente che gli oggetti siano esposti in un museo nei pressi del sito, che illustri, oltre agli aspetti che non è possibile trasmettere sul sito, anche i metodi e le tecniche di scavo e documentazione illustrati sul sito stesso.

Quanto emerge dal terreno è, spesso e volentieri, rovina, ma non è detto che possa diventare “rudere”, né rimanere “rovina” in condizioni accettabili, o persino essere solo una rovina (Manacorda 2007). In altri termini, quanto emerge dal terreno è un insieme di frammenti di un insediamento umano, sta poi all’archeologo, insieme agli esperti e alla compagine sociale, stabilire se tali frammenti possono assumere un senso (sociale) di memoria di qualcosa; in alternativa essi hanno valore solo per la ricerca in quanto documenti. Il tema acquista particolare rilevanza in ambito urbano dove i frammenti devono poter costituire un monumento per poter essere una presenza sulla scena cittadina, pena il loro abbandono e la formazione di cesure nel tessuto².

Architetti e archeologi sono d’accordo che se la valorizzazione-musealizzazione dei resti archeologici non è affatto obbligatoria, presupponendo requisiti del bene e della futura gestione che non sempre si è in grado di garantire, la loro conservazione lo è (Manacorda 2007; Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Il rinterro di un sito potrebbe diventare una soluzione molto più diffusa di quanto non lo sia oggi, e andrebbe praticato tutte le volte che i frammenti hanno la capacità di essere documento ma non hanno la potenzialità di essere monumento. L’intervento poi conferirà un nuovo significato al sito che si decide di lasciare esposto ma «ciò che conta non è l’uniformità del senso percepito ma la non contraddittorietà dei molti possibili sensi» (Manacorda 2007).

L’attuazione pratica dei principi sin qui esposti dipende quindi dalla definizione di un progetto e di una strategia di intervento in rapporto a specifici obiettivi individuabili in valorizzazione, comunicazione, fruizione, presentazione e interpretazione su cui si è di più concentrata la riflessione teorica dei ricercatori e l’attività normativa degli organismi internazionali.

Un repertorio di interventi e azioni progettuali sul sito archeologico potrebbe invece comprendere (Matteini 2010; Pineschi 2007):

Documentazione e diagnosi. Acquisizione delle informazioni di base sullo stato di fatto del bene, sullo stato di conservazione e della cause del degrado

Ricostruzione digitale. Azione di ricostruzione dell’architettura antica, o di sue fasi, virtualmente per motivi scientifici e anche per la comunicazione al pubblico del sito;

Conservazione allo stato attuale dei reperti e del contesto. Livello minimo progettuale teso a esaltare lo stato di rovina e finalizzato a massimizzare l’originalità del materiale;

Modifica del contesto per la tutela della struttura. Intervento sull’intorno del sito archeologico ad es. regolamentando i percorsi, le vedute, gli accessi, la piantumazione, nell’ipotesi (tacita o cosciente) che la consistenza dei reperti sia tale da poter resistere alle aggressioni ambientali. È la situazione del parco archeologico;

Manutenzione. Interventi volti a limitare l’effetto del degrado sulla struttura archeologica o la perdita di materiale originale mediante nuove superfici di sacrificio;

²Ma Manacorda (2007) non esita a classificare questi siti abbandonati quali «pattumiere urbane».

Conservazione-restauro. Azioni tese a modificare lo stato dei manufatti mediante azioni di tutela diretta e indiretta mediante strutture di protezione, risarciture, integrazioni, puntellamenti ecc.

Anastilosi. Ricostruzione filologico-documentata ad alta complessità di un manufatto, comprensiva delle tecniche costruttive, delle macchine e della decisione in merito alle aggiunte necessarie per dare compiutezza statica all'edificio rialzato

Musealizzazione. Ricollocazione nella struttura museale dei frammenti e dei reperti ma anche protezione di aree di scavo in modo da renderli fruibili e ben conservate per gli esperti e i visitatori per tutti quei reperti che non possono essere rimossi dalla loro sede. Comprende anche la progettazione di tutte le strutture di servizio e di supporto necessarie a far funzionare correttamente l'area archeologica.

3.1.1 Obiettivi

Valorizzare

Valutare è cosa diversa dal *valorizzare*, poiché col primo termine si intende il riconoscimento di un valore esistente e col secondo l'aggiungerne di nuovi: il primo è un'etichettatura, un'iscrizione in una lista, il secondo è il riconoscimento effettivo che quel bene merita di essere preservato per ciò che effettivamente rappresenta. In entrambi i procedimenti è forte non solo la componente soggettiva del giudizio ma anche la dipendenza dall'epoca in cui i valori sono riconosciuti e dal gruppo che ne esegue il riconoscimento. La loro validità può essere anche contemporanea e fa sì che ci sia abbastanza condivisione in ambito scientifico sui metodi di conservazione, mentre le posizioni su cosa e perché si debba conservare sono notevolmente più distanti (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

La valorizzazione non è pertanto da intendersi come la "messa in valore" del bene, ciò che corrisponde già alla fase di intervento, bensì la fase preliminare necessaria ad accertare (Palumbo e Teutonico 2000):

- L'importanza dell'identità culturale del bene per la comunità scientifica e locale;
- Le reali possibilità gestionali, per il mantenimento e lo sviluppo del sito;
- Le definizioni delle tecniche e delle strategie di conservazione più opportune in rapporto alle caratteristiche del sito.

Ridiventa pertanto centrale il problema della "definizione del valore" su cui già aveva riflettuto la neonata teoria del restauro di A. Riegl³. Oltre a dare una caratterizzazione dei principali valori, lo studioso austriaco aveva saputo individuare anche il notevole tasso di conflittualità tra i valori, che fa dipendere la loro conservazione da una scelta del presente che li riconosce. Per questo il restauro e le altre attività legate alla salvaguardia dei beni culturali — protezione, conservazione, valorizzazione, presentazione, ecc. — sono prima di tutto attività *etiche*, poiché legate al comportamento da adottare nei confronti di testimonianze dell'attività umana ritenute irriproducibili, a causa del loro unico percorso nella storia, nello sforzo congiunto di mantenere un effettiva distanza critica del presente dal passato, di assicurare la leggibilità della scelta attuale anche per il futuro e di dare

³Per la teoria di Riegl si rimanda a gli estratti contenuti in Melucco Vaccaro et al. (1996).

leggibilità all'oggetto originario (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Per riconoscere ed apprezzare un oggetto-bene culturale è necessario prima di tutto capire anche *perché* e *per chi* si conserva, e, solo definiti questi termini è possibile scendere al dettaglio dell'atto pratico del *come* si conserva (Avrami et al. 2010).

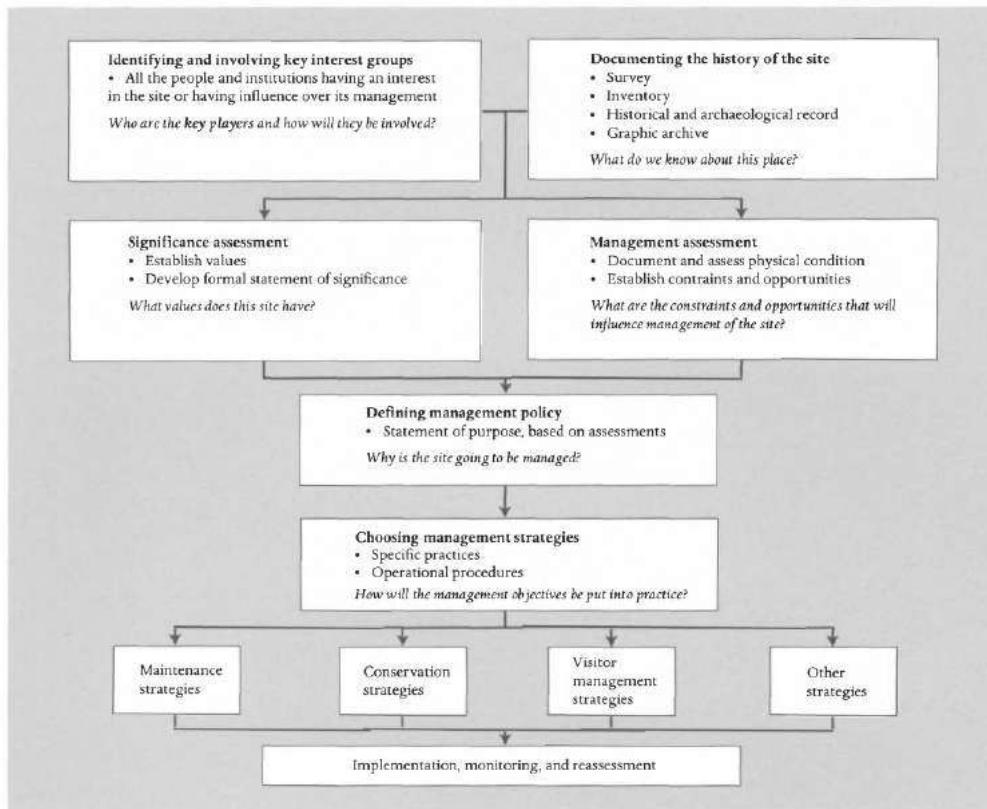


Figura 3.1: Il processo di accertamento dei valori finalizzato alla gestione del sito archeologico proposto da De La Torre (1997)

Comunicare

La comunicazione in archeologia riguarda ogni tentativo di ricostruzione del mondo antico a partire da dati materiali e forme culturali secondo codici intellegibili alla collettività; ogni processo comunicativo deve avere un attore (archeologo) e un recettore (pubblico, altri archeologi). L'ICOMOS sottolinea l'importanza della conoscenza e della diffusione presso il pubblico dei siti archeologici ai fini della conservazione, riconoscendo che ogni atto di conservazione è sostanzialmente un atto comunicativo. La transizione dell'informazione archeologica per sua stessa natura fa perdere la sua "neutralità" per diventare sintesi interpretativa, epistemologia, tassonomia, didattica. La comunicazione, testuale o grafica, deve relazionare l'informazione pura (sito o reperto) con il contesto (interpretazione complessiva) in modo che i diversi fruitori ne possano beneficiare sulla base del grado di formazione di ciascuno. La comunicazione in archeologia si può svolgere in diversi ambiti (Francovich e Manacorda 2006):

Didattico-divulgativo. Si svolge anzitutto nei musei, nelle mostre, nei parchi archeologici, nell'archeologia sperimentale, nelle attività con le scuole ecc. È il livello primario, che si rivolge alla collettività secondo il grado di alfabetizzazione rendendola partecipe non solo delle scoperte ma anche del valore in sé della ricerca archeologica;

Scientifico. Si attua nell'edizione-pubblicazione delle ricerche e degli scavi e nella periodica diffusione dei risultati, anche se una stima ritiene che oltre il 60% degli scavi moderni rimanga sostanzialmente inedito;

Multimediale. Nella comunicazione virtuale occupa ormai un posto di rilievo la ricostruzione 3D in computer grafica di siti, monumenti e paesaggi archeologici e questo tipo di applicazione può essere di fatto considerato come la riedizione tecnologica delle ricostruzioni grafiche ottocentesche. Questi strumenti permettono inoltre di riprodurre digitalmente l'intero contesto e quindi poter ripercorrere le fasi di vita a ritroso;

Commerciale. Si tratta di una forma che è in grado almeno di suscitare la curiosità rispetto ai temi archeologici, in cui tuttavia il realismo della ricostruzione e della scenografia lasciano poco spazio alle evidenze materiali concrete.

Il visitatore è più interessato alla storia delle persone che alle astratte ricostruzioni dell'architettura e dell'archeologia: va trasmessa l'idea che le rovine non siano solo pietre e unità stratigrafiche ma luoghi dove le persone hanno vissuto, interagito e hanno espresso le proprie idee (De La Torre 1997). Un allestimento adeguato degli ambienti principali, la presenza di modelli che trasmettano le forme dell'architettura completa, pannelli informativi adeguati — tutte forme di comunicazione specificamente museale, cfr (Ruggieri Tricoli 2000) — possono essere fondamentali per comunicare il senso della realtà di un sito archeologico al pubblico.

Fruire

Conclusione di ogni attività intrapresa sul sito e per il sito archeologico è la fruizione dello stesso da parte del pubblico, cioè l'uso che la società contemporanea fa del sito, il quale, a sua volta, è un riflesso dell'interpretazione e del valore che ne dà la contemporaneità. Il problema tuttavia è bifronte, poiché se dal lato del bene archeologico è necessario garantire l'uso compatibile e la protezione, dal lato del fruitore è fondamentale che il godimento del bene possa avvenire almeno in sicurezza, ponendo per un momento in secondo piano anche la sua esigenza alla comprensione del sito.

Nel progetto di fruizione va valutato se l'esperienza del visitatore debba o meno ricalcare quella di un abitante dello spazio originale, in termini di percorsi di accesso al sito, percorsi interni, esperienza visiva di luce e colore; oppure se dare preminenza ad un valore a discapito degli altri, come nell'intervento di Minissi su Villa del Casale, dove l'aspetto estetico dei mosaici prevale sugli aspetti storici e didattici della funzione delle sale o della vita dell'epoca (De La Torre 1997).

La fruizione si pone comunque dopo il processo conservativo (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004), in quanto fa parte della (possibile) riattivazione all'uso che si fa del bene culturale, ma che non comporta obbligatoriamente un uso "ragionato" del bene stesso, volto alla

rievocazione dei già citati valori o rimandi culturali, bensì al suo uso in qualità di cornice, per quanto suggestiva, di un'attività più o meno culturale.

Il livello di comprensione di un sito archeologico è direttamente proporzionale alle condizioni in cui lo stesso si trova, dalla qualità della visibilità e accessibilità (libera o tramite percorsi obbligati), dalla bontà dei supporti didattici. La qualificazione dell'area archeologica come cantiere sfrutta la curiosità da quest'ultimo suscitata per coinvolgere attivamente la popolazione nelle attività di valorizzazione (Marino 2009).

Specie in contesto urbano non è necessario proteggere ed esporre tutto quanto si rinviene, specie nel caso di strutture estremamente parziali e di difficile lettura: la rovina è spesso muta per il pubblico e quindi bisogna fare in modo che "parli". Non basta disporre un perimetro e mettere un tetto per avere un sito ma bisogna anche saper coinvolgere l'osservatore e trasmettere qualcosa che non siano solo nozioni ma anche esperienze (Ruggieri Tricoli 2007).

Presentare

I falsi e le ricostruzioni in stile non sono, ovviamente, autentici ma godono della loro realtà visiva, inducendo il visitatore a pensare che siano "veri". Quanto più è completa l'architettura tanto più è in grado di stimolare l'immaginazione e quindi di risultare comprensibile al visitatore. Tuttavia l'effetto di una struttura evidentemente nuova in un sito archeologico frequentemente è sbilanciato a favore della prima ottenendo un effetto di straniamento per il contrasto tra la parte ricostruita, dominante dal punto di vista volumetrico, e i bassi resti all'intorno (Schmidt 1997). Il rischio degli interventi fortemente orientati alla sola presentazione del sito è in genere rappresentato dalla trasformazione del sito archeologica in una attrazione turistica.

La presentazione pertanto deve rendere un sito attraente e stimolante da un punto di vista visivo conservando al contempo l'accuratezza storica e l'integrità delle rovine. L'uso del sito, del paesaggio, dei materiali archeologici rinvenuti che potrebbero trovare posto in loco sono i fattori attraverso cui è possibile raccontare le storie degli uomini, il messaggio in genere più facilmente recepibile e trasmissibile, tuttavia la presentazione è sempre frutto di una interpretazione dei fatti, storici e archeologici (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Il progetto di valorizzazione dovrebbe enfatizzare i resti antichi e non farne il fondale della scena, utilizzandoli anche come base per mettere a fuoco gli elementi salienti nell'architettura: una colonna rialzata dà la scala verticale; le soglie delineano il passaggio tra interno ed esterno, ecc.

La presentazione si può intendere come l'esito naturale della conservazione del sito archeologico, soprattutto se questo si presenta con valori piuttosto facilmente percepibili, grazie a rovine particolarmente suggestive e d'effetto (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

La presentazione di una rovina archeologica può avvenire secondo un'ampia gamma di sfumature, in funzione dell'epoca in cui viene intrapreso l'intervento — e quindi, di riflesso, della prevalente concezione in merito al restauro —, della natura dei ruderi — edifici pubblici o residenziali — ma soprattutto delle possibilità di fruizione turistica. Le più comuni sono:

Sistemazione a rudere. Il rudere viene mantenuto tal quale esaltando il senso del passaggio del tempo e la dissoluzione dell'architettura nella natura. Ne risulta in genere

un sito di difficile lettura, soprattutto ad un pubblico meno formato, a meno che non ci si voglia limitare esplicitamente al godimento estetico del rudere;

Ricostruzione con recupero dell'unità formale. Viene applicata per edifici di particolare pregio, dove prevalgono il valore estetico e storico e si cerca di riproporre l'originaria unità della costruzione anche al costo di inserire nuovi elementi andati dispersi, copie o sostituzione di parti di particolare pregio o molto fragili. La lettura dell'edificio risulta facilitata ma c'è il rischio di annullare il passaggio del tempo e far credere al visitatore che l'edificio sia sopravvissuto indenne ai secoli o comunque di far passare in secondo piano le rovine (Schimdt e Sivan in De La Torre 1997);

Ricostruzione evocativa senza recupero dell'unità formale. Gli elementi architettonici di particolare interesse possono essere inseriti in supporti o collocati in modo da rievocare il loro ruolo nell'edificio o le dimensioni generali del complesso, soprattutto in altezza, senza però riproporre la costruzione originaria di cui al contrario si sottolinea la frammentarietà. Aumenta il grado di difficoltà di lettura rispetto al caso precedente ma, se ben ragionata, questa soluzione permette effettivamente di rievocare le volumetrie originali denunciando al contempo il passaggio del tempo sull'opera umana oltre alle parti che sono di aggiunta;

Ricostruzione non evocativa senza recupero dell'unità formale. In questo caso gli elementi architettonici vengono disposti su supporti che non riprendono le relazioni dimensionali originali né tra le parti né con il tutto. Il risultato è disorientante per il visitatore poiché non trova corrispondenza tra quanto vede e quanto magari è pubblicato sulla guida o sui cartelli illustrativi.

Nei siti archeologici più noti ed estesi (es. Efeso, De La Torre 1997; Gizzi 1997) è spesso possibile rinvenire tutta la casistica descritta anche per la presenza di edifici originariamente con funzioni e consistenza diverse che stimolano processi ricostruttivi diversi. Se infatti l'edificio pubblico o monumentale è più predisposto per la conservazione a rudere o la ricostruzione parziale, sugli edifici residenziali solo una ricostruzione evocativa può effettivamente trasmettere il senso del vivere domestico del passato. La presentazione è comunque sempre un momento fondamentale del processo di trasmissione delle informazioni perché serve per superare la barriera, scientifica che stabilisce l'oggetto conservato in sito, estetica che si forma quando il reperto entra nel museo.

Interpretare

L'identificazione col sito da parte di tutti quelli che possono esservi interessati (studiosi, comunità locale) determina anche il suo mantenimento e la sua sopravvivenza grazie all'interesse reale che suscita. Il sito deve entrare a far parte del paesaggio dove vive la comunità e quindi diventare parte delle loro azioni quotidiane e non solo attrazione turistica. L'interpretazione deve efficacemente comunicare il significato e dev'essere la logica che guida l'intero progetto di salvaguardia. Le ricostruzioni devono trovare adeguato sostegno nei resti e basarsi su ricerche serie in modo che il risultato sia un'istituzione culturale dinamica nella società e non solo un bell'oggetto da mettere in mostra ai turisti paganti (N. Silberman e D. Callebaut in Agnew e Brigland 2006).



Figura 3.2: Il teatro greco di Heraclea Minoa con la “copertura” progettata da Minissi e dopo la rimozione di quest’ultima con la costruzione della nuova protezione. Il primo intervento, con i gradini riproposti in perspex permetteva di comunicare, comprendere e fruire il teatro come fosse nuovo senza mai nascondere l’elemento archeologico, tuttavia si è rivelato assolutamente inadeguato dal punto di vista conservativo. Il nuovo intervento rinuncia a questi aspetti per orientarsi alla sola funzione di protezione risultando peraltro piuttosto invadente nel paesaggio.

Al tema è dedicata la *The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites* che elenca sette principi:

1. Facilitare la comprensione e l’apprezzamento del sito, anche per coinvolgere direttamente il pubblico nell’impegno del suo mantenimento;
2. Comunicare il significato del sito, una volta che sia chiaramente accertato, tanto attraverso i tradizionali metodi di studio quanto mediante i saperi e le culture tradizionali;
3. Salvaguardare tutti i valori, tangibili e intangibili nel loro contesto ambientale e culturale;
4. Rispettare l’autenticità del sito, proteggendolo dalle aggressioni ambientali ed antropiche, comprese quello che potrebbe essere il sistema di interpretazione;
5. Promuovere la conservazione sostenibile, attraverso pratiche manutentive di lungo termine che vedano partecipe anche la popolazione in quanto coinvolta e sensibilizzata ai valori del sito;
6. Coinvolgere, attraverso una larga partecipazione, tutti i possibili soggetti interessati ai programmi di conservazione, interpretazione e sviluppo;

7. Sviluppare linee guida professionali e tecniche per la valutazione degli interventi, la conoscenza e la formazione.

3.2 I metodi e le tecniche

Una trattazione degli interventi ammissibili sul sito archeologico, in rapporto ad un preciso orientamento multidisciplinare ormai fatto proprio dalla ricerca italiana sui beni culturali è rinvenibile nello schema di *Linee guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico. Conoscenza, prevenzione, manutenzione* (Gasparoli et al. 2013) che stabilisce le azioni necessarie — ispezioni, manutenzioni, interventi in funzione delle condizioni di conservazione — affinché si mantenga l'integrità del bene e se ne garantisca la fruibilità senza compromettere la leggibilità globale e delle sequenze stratigrafiche in particolare. A questi e agli altri mezzi che si rinvergono nella letteratura è opportuno dare descrizione per poter chiarire anche l'ambito di riferimento della tesi.

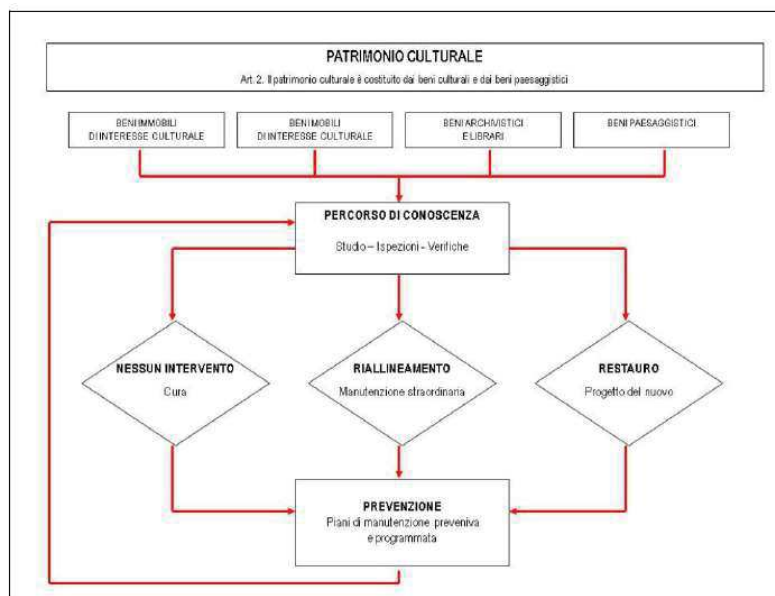


Figura 3.3: Schema concettuale delle relazioni tra operazioni sui beni culturali edificati (da Gasparoli et al. 2013)

I termini utilizzati per denotare gli interventi sul bene culturale e, più specificamente, sul sito archeologico, sono molti ed è frequente anche la confusione, se non l'uso improprio, degli stessi termini, soprattutto se chi li utilizza li traduce dall'inglese all'italiano o viceversa senza guardare al reale significato delle parole. L'uso appropriato della terminologia è così importante che i documenti più recenti, come la carta di Burra o quella della Nuova Zelanda contengono anche un glossario di riferimento. Di converso, alcune operazioni sono liminari tra diverse categorie concettuali e quindi possono essere ritenute volte ad entrambi gli scopi illustrati dal criterio.

In linea generale è possibile riconoscere le regole di seguito esposte (Tab. 3.1).

Tabella 3.1: Corrispondenza terminologica dei termini connessi alle attività riconducibili al sito archeologico.

termine italiano	termine inglese	scopo
conservazione	preservation	sopravvivenza materiale del bene (anche intervento diretto)
manutenzione, restauro preventivo	maintenance/preservation	sopravvivenza materiale del bene (no intervento diretto)
interpretazione	interpretation	miglioramento della fruizione
restauro archeologico	restauro	trasmissione dei valori con interventi diretti e ricostruzioni, salvataggio di beni compromessi
musealizzazione	conservation	salvaguardia e trasmissione dei valori del sito

3.2.1 Documentazione e diagnosi

La documentazione è una fase complessa, pertinente a più di una delle tecniche di seguito descritte, che potrebbe essere definita come l'accertamento dei valori e la descrizione dello stato dell'oggetto. In senso lato può anche comprendere la registrazione dei beni esistenti sul territorio ai fini dell'attivazione di politiche di tutela, conservazione, ecc. In rapporto agli interventi invece consiste nella possibilità di delimitare con chiarezza quanto è originale e quanto fa parte delle aggiunte necessarie per la fruizione e la comunicazione. L'accertamento dello stato del bene consiste nell'individuazione della reale consistenza fisica e spaziale dell'oggetto.

3.2.2 Ricostruzione virtuale

La ricostruzione dell'architettura antica, tramite disegni di rilievo e ricostruttivi, pitture e incisioni, è una pratica adottata già nei tempi del Grand Tour, poi proseguita nei lavori delle diverse Accademie europee al cospetto delle rovine greche e romane. Il completamento grafico delle parti scomparse era affidato più che altro alla fantasia e allo stile e per questo era stato sentito come poco scientifico e progressivamente abbandonato con l'affermarsi nei nuovi mezzi di documentazione e ricerca nella seconda metà del Novecento. L'accurata descrizione, anche grafica, del rudere permette tuttavia di evitare gli errori di interpretazione e la ricostruzione grafica consente di rappresentare in modo sintetico una serie complessa di informazioni inerenti a topografia, urbanistica, architettura, volumetrie, spazi urbani ed architettonici in termini immediati e sufficientemente realistici (Manacorda 2007). L'introduzione delle tecniche informatiche ha ulteriormente ampliato queste capacità.

In tempi recenti la ricostruzione grafica è diventata anche un mezzo per poter comprendere meglio l'evoluzione di certi siti particolarmente complessi ed è un modo per verificare i dati che emergono in corso di scavo ed ipotizzare tecniche di restauro (completamento

in stile, ricomposizione, ecc.) inapplicabili, perché oggi ritenuti inaccettabili, nella realtà. Grazie alla sua immediatezza, l'immagine digitale o il video rappresentano anche un ottimo mezzo per la comunicazione al pubblico di cose altrimenti impossibili da spiegare a parole e da attuare nella pratica della ricostruzione.

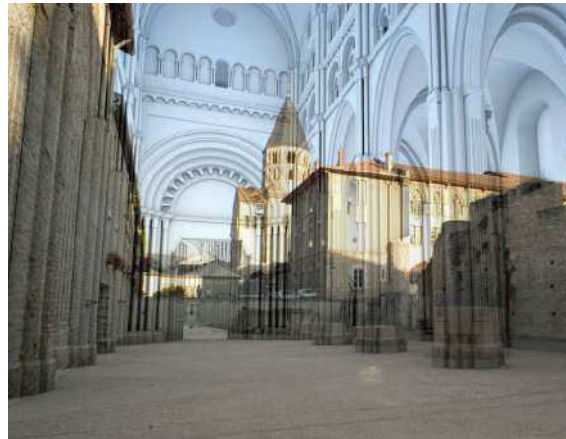


Figura 3.4: Ricostruzione virtuale dell'abbazia di Cluny (da [4])

Tutela

La Commissione Franceschini ha innovato anche il concetto di tutela, associando alla "mera conservazione" del bene la conoscenza scientifica e la capacità di essere testimonianza storica (Di Stefano 1972). L'accessibilità pubblica e la sopravvivenza del bene sono pertanto le due dimensioni all'interno delle quali si esercita la tutela, che prevalgono, dal punto di vista giuridico, anche sull'esercizio della proprietà privata (Manacorda 2007). Francovich e Manacorda (2006) definiscono la tutela come l'insieme delle azioni pubbliche svolte dalle soprintendenze rivolte sia a preservare la consistenza del patrimonio culturale noto, assicurandone la conservazione e la trasmissione alle generazioni successive, sia ad accrescere la quantità dei beni di interesse. Tali azioni, rivolgendosi a beni di natura storica, devono essere informate alle più aggiornate metodologie della ricerca scientifica e devono essere svolte da personale qualificato culturalmente e professionalmente.

La conoscenza è il fondamento della tutela poiché non solo consente di individuare i beni costituenti il patrimonio culturale bensì permette di «stabilire le condizioni necessarie a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione» (Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, art. 3 comma 1). Essa consente di essere avvertiti dei rischi che corre il manufatto ma soprattutto permette di accertarne lo stato di conservazione e di degrado, il comportamento strutturale, con l'obiettivo di minimizzare gli interventi e di eliminare del tutto quelli che potrebbero risultare inutili o inefficaci nelle migliori delle ipotesi e nocivi nelle peggiori (Gasparoli et al. 2013). La tutela pertanto può essere esercitata solo su un oggetto del quale è riconosciuto il valore in ordine ad un certo insieme di requisiti da parte della popolazione attraverso i suoi rappresentanti politici. Solo la sanzione istituzionale del vincolo amministrativo crea effettivamente il bene culturale, distinguendolo dagli oggetti che solo potenzialmente potrebbero esserlo (Tosco 2014). Il valore del monumento-documento non è tale solo perché viene dal passato, ma perché,

nel vastissimo insieme di oggetti potenzialmente degni, è riconosciuto, enucleato e valorizzato, peraltro in genere da cultura diversa rispetto a quello che lo ha prodotto. Solo chi viene dopo può riconoscere l'importanza di un oggetto connessa alla sua antichità oppure alla sua capacità di evocare uno specifico evento. In quest'ultimo caso, prevarrà la considerazione per l'uso e il mantenimento in efficienza, nell'altro si dovrà applicare la conservazione, nel secondo il restauro (cfr. Melucco Vaccaro et al. 1996) per il valore storico.

Tuttavia, dal punto di vista strettamente normativo, il provvedimento di vincolo in sé non induce comportamenti atti a migliorare il godimento del bene o la trasmissione al pubblico dei significati, né contiene prescrizioni o metodologie a carattere tecnico-pratico condivise o condivisibili all'interno della comunità dei conservatori. Il vincolo restringe il numero di azioni che è possibile compiere sul bene, sulla base del valore pubblico del bene, ma non aggiunge nulla in più per ottenere il pieno riconoscimento di esso, che viene lasciato alla giurisprudenza, a norme episodiche e spesso contraddittorie e, in ultima analisi, alla *discrezionalità tecnica* del sovrintendente. Infine, il senso della tutela come possibilità che altri nel futuro possa avere il diritto-dovere di godere dei beni culturali è in linea con la definizione brandiana di restauro quale personale godimento e riconoscimento del valore nel bene: non c'è tutela in assenza di valorizzazione cioè di percezione pubblica di tale valore. Il processo di valorizzazione ha come presupposto la conservazione integrale della materia del bene e ha come prospettiva l'accrescimento delle possibilità di godimento del valore che si intende salvaguardare proteggendo la materia. La valorizzazione si configura (o si dovrebbe configurare) pertanto come tutela esercitata lungo tutto il ciclo di vita del manufatto vincolato mediante quelle attività di gestione e manutenzione che già Brandi aveva individuato essere le uniche volte alla vera salvaguardia e conservazione del bene e dei suoi valori (Petraroia 2010).

3.2.3 Conservazione in sito

La conservazione in sito non è una scelta scontata ed è peraltro acquisizione relativamente recente nel dibattito teorico e ancor più giovane nella prassi delle operazioni successive allo scavo. Se la prima dichiarazione dell'inaccettabilità di rimozione dell'oggetto dal suo ambiente storico di riferimento risale al 1979 con la Carta di Burra, nella pratica ne viene riconosciuta la fattibilità e sostenuta l'applicabilità, almeno in area mediterranea, solo negli anni Ottanta e Novanta soprattutto per quei siti dove si ha la presenza di mosaici, pure incontrando molte resistenze. Nel momento in cui il mosaico viene rimosso e portato in museo, vuoi per essere esposto vuoi per finire in deposito, esso cessa di essere una superficie decorata di un'abitazione e quindi logica con essa, per diventare un oggetto come un altro da mettere in mostra; inoltre mantenerlo sul posto significa anche conservare gli strati preparatori sottostanti che hanno un valore perché parte integrante della tecnica antica. La conservazione in sito inoltre non coincide necessariamente con quello che in inglese viene denominato *shelter*, vale a dire la copertura di protezione, ma si può esprimere, ammesso che sia garantita la manutenzione, nell'intera gamma di soluzioni che vanno dalla sistemazione paesaggistica a quella architettonica sempre avendo ben fissa la conservazione dell'oggetto, il mantenimento del paesaggio e la trasmissione del significato (A. Melucco Vaccaro in Michaelides 2003). L'ottenimento di questo obiettivo ambizioso

non può trascurare il contributo di una gestione costante e attenta, spesso in contrasto con altre esigenze più pressanti come lo sviluppo edilizio o urbanistico di una certa area che ha permesso il ritrovamento stesso dell'oggetto. La conservazione si esplica innanzitutto più sul contesto e sull'intorno dell'oggetto che sul bene stesso, donde possono venire i pericoli per il bene (R. Nardi in Michaelides 2003).

Secondo Pedeli e Pulga (2002) i fattori che possono motivare una conservazione in sito, in assenza tuttavia di criteri stabiliti e condivisi in sede di discussione scientifica, risultano essere:

- L'interesse intrinseco del manufatto;
- La sensibilità della comunità e delle amministrazioni locali al sito archeologico;
- La disponibilità della comunità e dell'amministrazione di sostenere attivamente il sito;
- La possibilità di programmare nuove ricerche scientifiche;
- La presenza di resti murari leggibili;
- L'accessibilità del sito;
- La sicurezza per cose e persone sul sito;
- La disponibilità di attrezzature e tecnologie sufficienti ai fini della conservazione di base;

Carandini (1987) sostiene che «il singolo oggetto va riaggregato al contesto e il contesto va disaggregato in oggetti o in parti (materialmente nello scavo, graficamente nella lettura stratigrafica)». Ciò permette di non avere «mucchi di cose» ma «discorsi storici fatti attraverso gli oggetti». La collaborazione tra restauratore e archeologo serve in effetti a dare un senso e a trasmettere il senso a frammenti che altrimenti sono privi di alcun valore diventando il "gesto" dell'architetto o un insieme sparso di pietre tra l'erba. In fondo è anche quanto afferma la (ICOMOS 1964) all'art. 7 quando impedisce la separazione del monumento (ma in senso lato si può leggere "l'oggetto archeologico") dalla storia di cui è testimone e dall'ambiente in cui si trova.

3.2.4 Prevenzione

La conservazione preventiva o prevenzione è l'insieme di tutte le misure e azioni mirate a evitare e minimizzare futuri degradi o perdite e a favorire la conservazione (ICOMOS 1999). In esse rientrano quelle che non coinvolgono direttamente il bene ma sono indirizzate a controllare e contenere situazioni di rischio che possono manifestarsi al contorno, inteso come contesto o spazio circostante — controllo della vegetazione e degli animali infestanti, canalizzazione dell'acqua, controllo dell'illuminazione, controllo delle condizioni ambientali—, o che possono essere annoverati negli aspetti gestionali, documentazione, regolamentazione d'uso, sensibilizzazione della popolazione, formazione del personale (Cecchi e Gasparoli 2010). Nessuna di queste azioni è tuttavia in grado di modificare direttamente l'aspetto del bene (ICOMOS 1999). Ancora Cecchi e Gasparoli (2010) annoverano in questa classe anche le attività volte ad aumentare le risorse dell'edificio, mediante rinforzi strutturali, strati superficiali di sacrificio e coperture provvisorie in continuità

con il pensiero di Ruskin sulla sorveglianza, sulla «cura assidua», sul rilievo accurato e sull'allontanamento delle cause del degrado; insomma la predisposizione di “stampelle” per la struttura (Gurrieri 1987). Esempi di attività di piccola manutenzione che hanno comunque efficacia preventiva sono: a) la pulizia dei canali di gronda e la verifica in generale dei sistemi di smaltimento dell'acqua piovana; b) la verifica delle condizioni degli elementi di copertura; c) la rimozione di depositi della vegetazione infestante; d) la verifica degli elementi di protezione sommitale (copertine, strati di sacrificio); e) il consolidamento e messa in sicurezza di elementi/strati in distacco; ecc.

3.2.5 Manutenzione

Per Gasparoli (2014) il degrado va inteso come la naturale risposta dei materiali all'azione degli agenti atmosferici e, a seconda dei casi, alla pressione antropica: se la struttura è già allo stato di rudere si tratta di una condizione fisiologica la cui completa eliminazione potrebbe comportare interventi onerosi, che priverebbero peraltro il bene del necessario valore di antichità. La cura assidua e costante di una condizione cronica, che consente di rallentare gli effetti senza eliminarli del tutto, corrisponde ai concetti di “manutenzione programmata” di G. Urbani o di “restauro preventivo” di C. Brandi: un agire finalizzato ad evitare il “guasto” e, di conseguenza l'intervento di riparazione (restauro). Circa la *manutenzione*, minore è la condivisione poiché non deve essere intesa come quella per i fabbricati di recente costruzione, dove il criterio informatore è il mantenimento/ripristino dell'efficienza, che non può darsi per le strutture archeologiche.

A differenza della prevenzione, la manutenzione per Cecchi e Gasparoli (2010) coinvolge direttamente la materia del manufatto, cercando di rallentare i fenomeni di danno e di rimuoverne le cause, pertanto gli interventi manutentivi — l'esempio più calzante è qui la ristilatura — devono assolutamente rispettare il palinsesto stratigrafico della struttura costruita, soprattutto se si tratta di azioni programmate, il cui effetto accumulo può essere importante. Il rischio di perdita o di compromissione della permanenza e della leggibilità di un nesso stratigrafico costituisce un fondamentale parametro di accettabilità dell'intervento e può anche motivarne il passaggio di livello, da manutenzione di routine a vero e proprio intervento di restauro progettato (Cecchi e Gasparoli 2011).

3.2.6 Conservazione (materiale)

Negli anni Ottanta in conseguenza della pubblicazione della *Teoria* di Brandi e degli eventi sismici accaduti alla fine del decennio precedenti (Friuli, Valnerina, Irpinia) inizia a diffondersi una visione della conservazione quale intervento fisico di salvaguardia, di minor impegno e rischio teorico-concettuale rispetto al restauro, poiché concentrato esclusivamente sul “supporto” dell'opera d'arte mobile o, nel caso degli edifici, sulla “struttura”. Era poi il restauratore per le pitture o l'architetto negli edifici ad occuparsi dell'aspetto finale su cui si accumulavano i problemi visivi. Tuttavia anche l'intervento sulla «materia come struttura» è pur sempre un intervento sulla materia storica e pertanto comporta problemi di natura teorica e concettuale, relativi alla scelta di cosa conservare o meno, laddove anche le scelte strutturali antiche (relative ad un edificio) rappresentano un principio di valore da tutelare.

Nella recente accezione (Francovich e Manacorda 2006), per conservazione si indica genericamente l'insieme dei mezzi e delle azioni atti a prevenire e rallentare al massimo il degrado dei materiali nel tempo⁴. A differenza delle azioni precedenti, è previsto l'intervento materiale sull'oggetto o sul suo ambiente, al fine di assicurarne la "durata nel tempo", senza alterarne la natura complessiva: né quella dei materiali che li costituiscono né quella dei molteplici significati che questi materiali veicolano; ne consegue che si deve rispettare la loro "integrità" pur permettendone l'accessibilità⁵. Perché sia efficace molti hanno osservato che la conservazione deve avvenire già in corso di scavo e in modo assiduo e costante così da prevenire ed evitare i danni e approfondire la conoscenza degli oggetti man mano che si procede con la messa in luce nel rapporto con la loro stratigrafia (Agnew e Brigland 2006; Pedeli e Pulga 2002). La documentazione, il rilievo, la conoscenza e la diagnosi del bene (oggetto, edificio, scavo) diventano pertanto un momento insostituibile del processo di conservazione perché permettono di definire lo stato di fatto del bene — quindi la storia, il degrado e gli accadimenti occorsi —, l'interesse scientifico e il valore e le strategie necessarie di intervento più adatte.

Successivamente nel corso della fruizione, se prevista, o delle altre forme di mantenimento previste dopo lo scavo (cfr. cap. 4), va evitato che il bene culturale subisca una perdita di materiale o uno svuotamento di significato (Matero in Agnew e Brigland 2006).

Oltre alle tecniche che servono per conservare gli oggetti rinvenuti (Pedeli e Pulga 2002), esiste di fatto anche un repertorio di soluzioni per la conservazione del sito archeologico e del rudere: stabilizzazione strutturale, ricostruzione, reinterro, coperture di protezione, ecc. Ogni soluzione ha un effetto su come l'informazione archeologica viene preservata, come vien fatta esperienza del sito e il grado di comprensione, in un andirivieni di valori scientifici, associativi ed estetici interdipendenti. Per ogni situazione va dunque scelto qual'è il mezzo più adatto per far sì che la cultura materiale possa trasmettere informazioni scientifiche ed estetiche, e quindi dare nozioni e suscitare memorie ed emozioni, nel massimo di l'integrità fisica, che vuol dire purezza, completezza di forma, materiale, autenticità (Agnew e Brigland 2006). La possibilità di poter conservare sul posto permette di salvaguardare quella rete di relazioni che altrimenti si verrebbe a perdere con il trasferimento in museo (Francovich e Manacorda 2006)

3.2.7 Restauro

Le vicende che hanno condotto all'attuale nozione di restauro, anche nel solo ambito più ristretto dell'archeologia, non potrebbero trovare adeguato sviluppo in questa sede. Basterà quindi dire che si condividono: a) una concezione del restauro quale intervento volto a migliorare la leggibilità ultima dei beni; b) l'applicabilità del restauro solo a valle di una perdita importante del significato dell'oggetto (ICOMOS 1999); c) la non legittimità della separazione tra "consolidamento" strutturale nascosto e intervento stilistico su quanto si vede dell'edificio, prassi mutuata dal restauro dei beni mobili (Marconi 1997).

Di particolare interesse per l'ambito archeologico è la forma del restauro inteso di "rein-

⁴Sarebbe concettualmente errato pretendere di eliminare del tutto il degrado, perché questo comporterebbe una manomissione eccessiva del bene.

⁵Così anche è il contenuto della «conservazione correttiva» prevista dalla carta di Burra. P. Marconi nella Carta della Conservazione 1987 ne fa invece «l'insieme di atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata alla configurazione materiale dell'oggetto considerato».

tegrazione delle lacune” caratterizzato dalla ripresa del materiale, semplificandone la lavorazione o adottandone una diversa superficialmente, dei volumi e delle sagome, sfalsando le superfici e semplificano le forme⁶. Il metodo è di preferenza applicabile a ruderi di edifici di grandi dimensioni; nel caso di strutture la cui traccia materiale sia meno evidente o fossero realizzate originariamente in blocchi lapidei, esiste anche la variante della ricomposizione integrativa, estesa dalla totale anastilosi al *pastiche*. Posizioni intermedie sono il rimontaggio di singole parti dell’architettura su supporti, in genere metallici e più o meno caratterizzati, così da restituire l’idea delle altezze e dei rapporti reciproci oppure la creazione di opere affatto nuove, ottenute ri assemblando i pezzi senza rispettare l’unità originale (Gizzi 1997). In entrambi i casi, ma soprattutto nel secondo, è necessario che il visitatore sappia anche leggere quanto gli viene proposto.

Se esiste pertanto una distinzione tra “restauro archeologico” e “restauro” generalmente inteso, come si proponeva alla fine degli anni Ottanta (Marino 1989; Melucco Vaccaro 1989), questa risiede non tanto nei metodi, nelle pratiche o nelle motivazione teoriche ma nel superiore livello di intangibilità della materia di cui è fatto il bene che per nessun motivo, fruibilità, leggibilità, sicurezza, ecc., può essere sacrificata (Carbonara 1987; Marino 1989). Il “restauro” inteso come intervento di salvataggio del bene, che deve per forza intaccare la materialità dello stesso, deve poter essere evitato grazie ad una assidua e minima manutenzione (Brandi 1977).

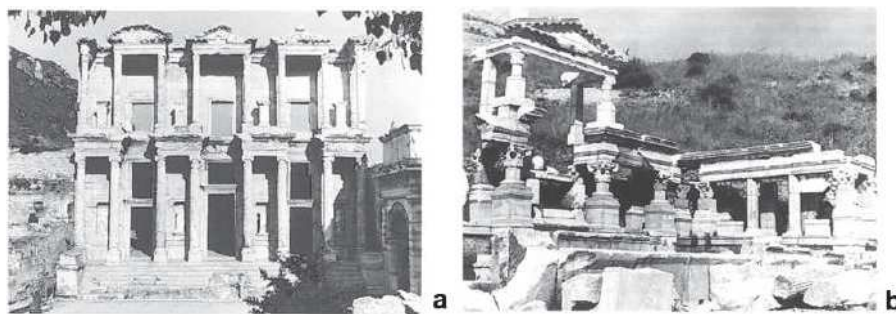


Figura 3.5: Diverse modalità di anastilosi a Efeso: a) ricostruttiva nella biblioteca di Celso; b) creativa non riconfigurativa nel mausoleo di Traiano (da Gizzi 1997)

3.2.8 Musealizzazione

Con questo termine non si intende il ricovero dei pezzi nel museo, bensì con Minissi, il trasferimento del museo sul sito archeologico (Amendolea 1988). In opposizione al disimpegno della “conservazione” intesa come sino a qualche tempo fa in Italia, la *conservation* si pone al vertice degli interventi sul sito archeologico-bene culturale essendo tesa alla protezione del significato culturale e alla sua trasmissione al futuro (N. Agnew in Agnew e Brigland 2006). Vlad Borrelli (2010), traendolo da una dichiarazione di ambito americano, definisce la conservazione come «tutte le azioni indirizzate a salvaguardare il significato del patrimonio culturale per il futuro. L’obiettivo della conservazione è studiare, documentare e ripristinare il significato culturale dell’oggetto con il minor intervento possibile. La conservazione include l’analisi, la documentazione, la prevenzione (*preventive conser-*

⁶Per un riassunto di un tema molto complesso e ampiamente dibattuto si rimanda a Gizzi (1997).

vation), la conservazione materiale (*preservation*) il restauro e la ricostruzione». Concetti sostanzialmente analoghi enuncia la Carta di Burra.

Pertanto la *conservation* corrisponde al concetto italiano di musealizzazione, laddove vengono presi in considerazione l'aspetto materiale determinato dalle condizioni fisiche; l'aspetto gestionale e di pianificazione; il significato culturale e i valori.

La musealizzazione è di fatto necessaria per quei siti dove questi valori sono più nascosti oppure è necessario mettere in evidenza altri aspetti, in genere intangibili, nel senso di immateriali e/o astratti, o semplicemente non tangibili perché gli elementi in grado di trasmetterli sono scomparsi o molto labili, e per essi la presentazione semplice è insufficiente (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004).

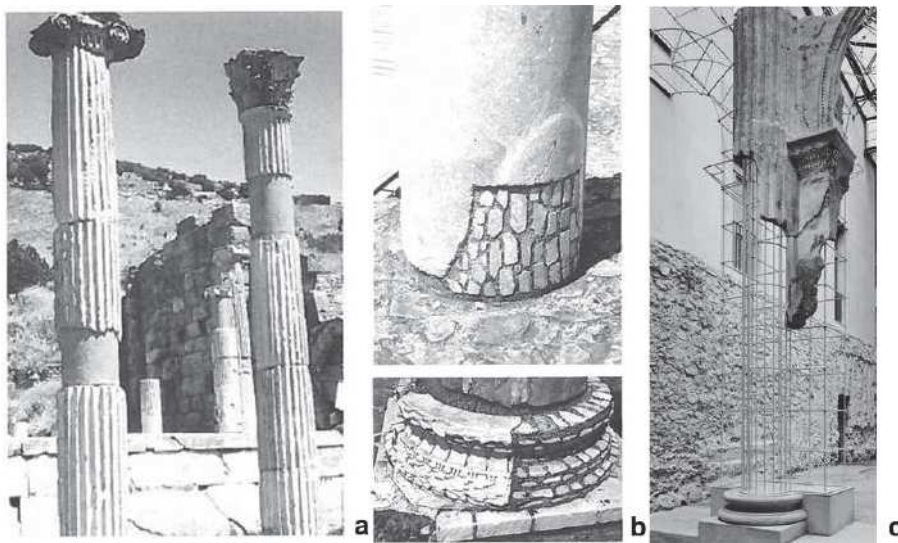


Figura 3.6: Diverse modalità di reintegrare una colonna: a) sottosquadro tridimensionale del fusto; b) completamento di parte della base con materiale diverso (da Gizzi 1997); c) delineazione del fusto con tondini metallici (da [5])

L'archeologia decontestualizza il sito rappresentandone i materiali *ex situ*, nei musei o nelle mostre, ma il sito è anche un luogo, che stabilisce una relazione con quanto vi si conserva, che potrebbe avere lo stesso valore degli oggetti. La conservazione è atto critico poiché deve decidere cosa, chi e come si conserva in rapporto ad una sempre mutevole definizione dei parametri di giudizio (Agnew e Brigland 2006; Ruggieri Tricoli e Sposito 2004). Anche scelte studiate per limitare le variazioni ambientali del sito (reinterro, copertura protettiva o ambiente confinato, spostamenti in ambiente protetto) privilegiano il valore scientifico o simbolico del materiale ma hanno molto impatto sul significato contestuale, associativo ed estetico. Le strategie messe in campo variano dunque per ogni sito, a seconda che sia prevalente la considerazione per la fruizione, l'inserimento nel paesaggio ecc. conservando la dicotomia del sito tra documento e luogo senza che sia ben chiaro quale dei due sia prevalente. Sul sito non sono legittime alterazioni fatte solo a fini didattico-ricreativi per la comprensione visiva, ed esso non è neppure un museo all'aperto dove si possono applicare le medesime tecniche del museo al chiuso, bensì è un paesaggio culturale da cui trarre spunti fenomenologici ed ecologici. Archeologia e conservazione devono essere un'impresa congiunta, in cui il centro è lo studio e l'interpretazione delle

testimonianze materiali, avvalendosi del rapporto col contesto, dello studio delle fonti, del significato culturale nel corso del tempo, e il suo ruolo nel pubblico attuale; di fatto è un processo strettamente culturale in cui ogni conoscenza di settore da il proprio contributo (F. Matero in Agnew e Brigland 2006).

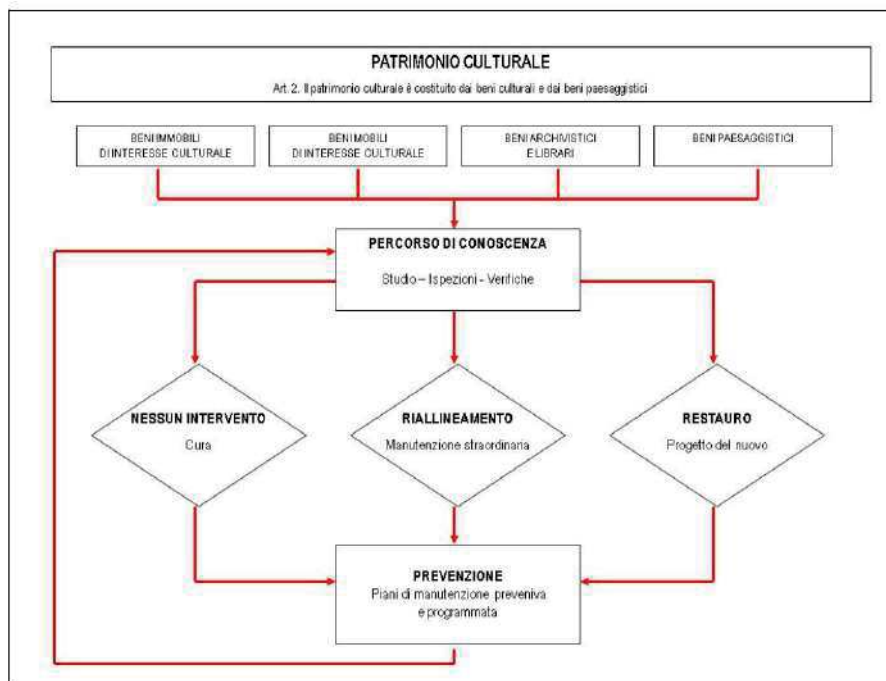


Figura 3.7: Schema concettuale delle relazioni tra operazioni sui beni culturali edificati (da Gasparoli et al. 2013)

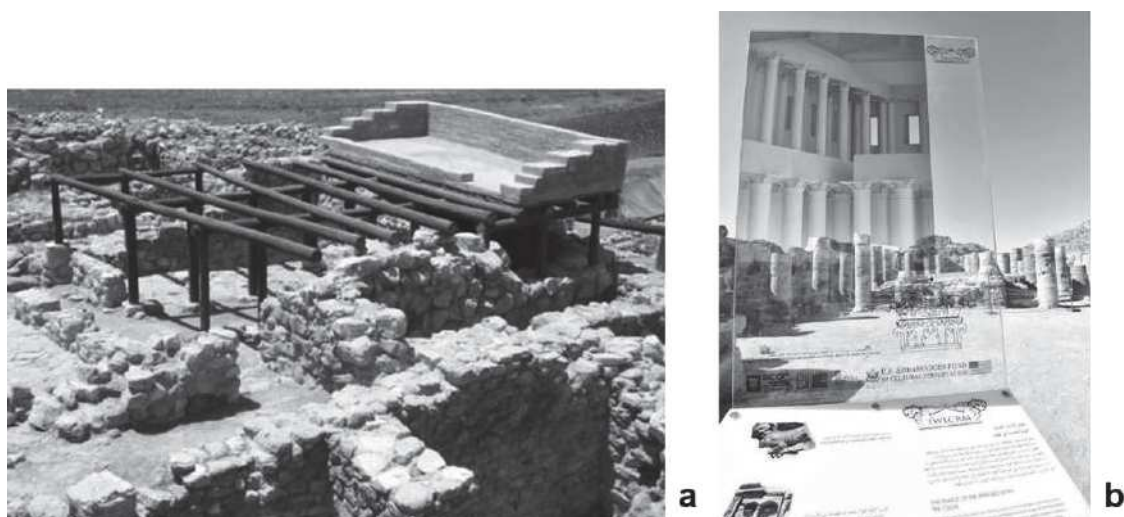


Figura 3.8: Diverse modalità di ricostruzione a scopo didattico intraprese dall'ACOR: a) con materiali reali sul sito preistorico di Tall al-'Umayri; b) mediante un pannello trasparente che completa graficamente la veduta (da ACOR 2017)

3.3 Osservazioni finali

Rispetto ad un disimpegno nel rapporto con la materia archeologica invalso nella seconda metà del Novecento, oggi si cerca attivamente di creare un più solido rapporto tra nuovo e antico.

La conservazione in sito è sempre il risultato di una collaborazione tra diverse figure di esperti (archeologi, conservatori, progettisti, museologi). La scelta attiene al cosa fare su un sito archeologico, dove tutto è rudere, nel senso che è rovina in quanto incompleto per volumetria, degrado materiale, interruzione d'uso e impossibilità del riuso secondo i canoni di Brandi. Tuttavia, tale condizione non è permanente, nel senso che, pur rimanendo rovina — e deve rimanere tale pena la falsificazione dell'oggetto —, può superare lo stato di rudere e rientrare all'interno del flusso di vita del presente. Allora gli archeologi ricostruiscono la storia secondo un approccio scientifico, fatto di fasi, muri, volumi, tagli, ricostruzioni; gli architetti lavorano per tramettere il senso, aprire i percorsi e cucire, i conservatori danno le indicazioni perché i materiali possano sopravvivere anche al di fuori degli stretti confini di una teca museale climatizzata e in penombra; gli ingegneri provvedono a far sì che quanto sia fuori terra sia in sicurezza; infine la manutenzione assicura che tutto si mantenga efficiente, correggendo eventuali inefficienze.

In questo quadro, ben delineato da Melucco Vaccaro (1989) è bene tenere presente che nessuna di queste operazioni sarà mai "neutra" nel senso che saranno tutte frutto di una interpretazione e altereranno l'interpretazione che si dà oggi del sito. Solo la documentazione e un'intelligente presentazione — chiara ma non esibita — provvedono a testimoniare gli interventi di restauro, a comunicare il senso e il valore dell'oggetto della ricerca archeologica.

In questo filone si inserisce il presente lavoro di ricerca.

Capitolo 4

Le coperture archeologiche. Ricadute ed effetti di un problema di restauro

Dal punto di vista teorico, la copertura è una *possibile* soluzione al problema della conservazione dei materiali archeologici; dal punto di vista pratico risulta inoltre che non è nemmeno la preferibile nella maggior parte delle circostanze. L'elenco delle realizzazioni evidenzia l'incapacità di molte soluzioni di risolvere i problemi in essere ma una notevole capacità di crearne di nuovi, altrettanto gravi.

Se sono numerosi gli esempi, sono in minoranza i contributi indirizzati a valutare i presupposti teorici e gli esiti degli interventi. In rapporto ai casi già esistenti, la cui stessa sistematizzazione risulta problematica sotto diversi aspetti, è necessario procedere ad una valutazione puntuale dell'efficacia, sia dal punto di vista archeologico-conservativo che architettonico-strutturale. A partire da questa analisi sarà quindi possibile individuare e formulare compiutamente gli indirizzi di progetto più adeguati.

4.1 Inquadramento storico-concettuale

La scelta di coprire o confinare, per proteggerlo, un sito o un ritrovamento archeologico là dove è stato rinvenuto, non è scontata: per molto tempo si è ritenuto che, assieme agli oggetti, anche parti caratterizzanti dell'architettura e dei suoi strati di finitura — mosaici, intonaci e affreschi — dovessero essere rimossi e poi raccolti nei musei a formare un campionario di antichità e di bellezze. In tal modo si è operato ad esempio a Pompei durante gli scavi borbonici (Laurenti 2006) ma fino ad epoca recente era questa la scelta usuale per i ritrovamenti di mosaici (Cfr. Cap. 3).

Non viene qui riproposto il percorso evolutivo delle coperture dagli albori, riconosciuti di solito in Inghilterra (Ruggieri Tricoli 2007), sino agli sviluppi più recenti, per il quale si rimanda ai lavori di Schmidt (1988) e di Laurenti (2006).

A Pompei nel Settecento era prassi comune la rimozione delle scene figurate dagli affreschi, i quali potevano essere addirittura demoliti perché giudicati «inutili» (Laurenti 2006). Nel corso dell'Ottocento si registrano comunque casi isolati di edifici pensati sul posto del ritrovamento, sia ai fini di una più efficace rievocazione del passato in rapporto alla magnificazione del presente — è il caso di alcuni interventi in Germania, cfr. par. 4.2.5 —

sia ai più semplici fini della protezione di quanto rinvenuto. Ancora una volta Pompei registra il cambio di sensibilità con le ricostruzioni dei peristili e del giardino delle Case dei Vetti, degli Amorini Dorati e delle Nozze d'argento. Ma è La Villa del Casale, pur nella straordinarietà del caso, a segnare un cambio di passo nell'atteggiamento progettuale. C. Brandi si spende in prima persona per la conservazione sul posto, cosciente che la relazione tra la villa e il paesaggio circostante ha la stessa importanza degli straordinari mosaici in sé e non sarebbe altrimenti riproducibile. Da questa precisa volontà si concretizza la soluzione di Minissi (Brandi 2005; cfr. *infra*). È solo alla fine del XX sec. che il ritrovamento di pavimentazioni musive di pregio sprona il dibattito relativo al luogo di conservazione più opportuno (Ruggieri Tricoli 2007), dibattito che trova la propria sede nella serie di convegni tenutisi negli anni Novanta a cura dell'ICCM (International Committee for the Conservation of Mosaics) e del GCI (Getty Conservation Institute) intitolati appunto *Mosaics make a site*.

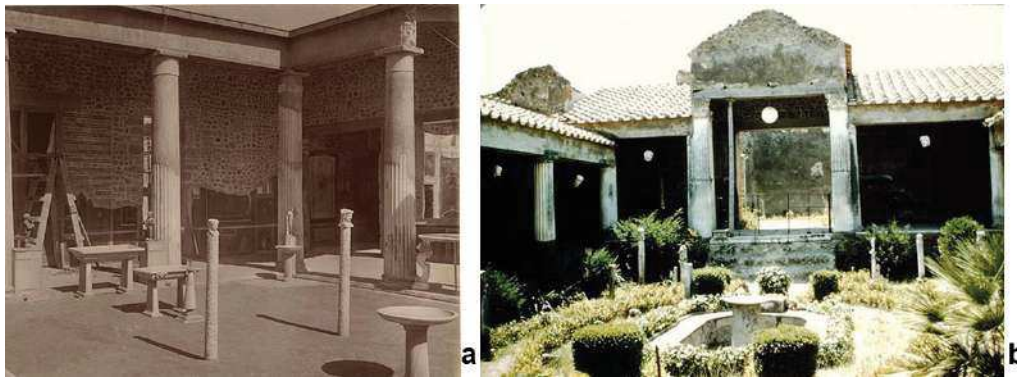


Figura 4.1: Esempi precoci di ricostruzioni in sito a Pompei: a la casa dei Vettii durante il cantiere di ricostruzione negli anni 1890; b) la casa degli Amorini Dorati in una foto del 1957 (da [17])

I documenti internazionali più recenti indicano pertanto come obiettivo la *conservazione integrata* cioè la sopravvivenza del patrimonio nel contesto appropriato, ambientale o costruito, e in rapporto con la società. Tale obiettivo è perseguito mediante diverse forme di attività, tra cui dovrebbe prevalere la manutenzione, preventiva e programmata (Sposito 2016).

La struttura protettiva è finalizzata alla conservazione dei reperti nel loro contesto per impedire la perdita di informazioni e di fruibilità con il loro spostamento fuori dall'ambiente originale. L'intervento risulta pertanto di restauro preventivo poiché non tocca direttamente la materia dell'oggetto — anche se non è esattamente così assoluta la cosa in realtà — ma lo interessa in quanto è finalizzato a creare le condizioni necessarie per il «godimento dell'opera come immagine e come fatto storico» per dirla con le parole di Brandi (1977). Di Muzio (2010a) infatti la dice rivolta alle condizioni al contorno del sito per migliorarne la godibilità e limitare l'intervento di restauro .

Come attività volta a “conservare”, “trasmettere” al futuro “testimonianze materiali aventi valore di civiltà”, rivelando e presentando in modo comprensibile le loro qualità storico-estetiche, facilitandone la lettura, la copertura rientra pienamente nel campo del restauro e nello specifico campo della costruzione del rapporto tra nuovo e antico (Di Muzio 2007). Per quanto i materiali archeologici siano fragili e non sempre rimovibili, non è comunque

detto che la “conservazione sul posto” implichi automaticamente anche la copertura e l’accesso dei visitatori. Non è nemmeno vero che la provvisorietà della copertura, usata come protezione in corso di scavo, sia una via di scampo al problema, ch  anzi genera problemi dipendenti dal non essere pensata per rimanere in opera per lungo tempo (Pedeli e Pulga 2002). Il reinterro   un’opzione non trascurabile, specie se non si   sicuri delle possibilit  gestionali del sito o se le operazioni necessarie per garantire la comprensibilit  dei resti risultino troppo invadenti (Sposito 2016). Ruggieri Tricoli (2007) suggerisce che i criteri minimi per poter lasciare visibile il sito possono essere: a) l’entit  della sopravvivenza materiale; b) le potenzialit  comunicative e informative; c) la diversit  e l’amenit  del sito; d) l’accuratezza della documentazione archeologica e/o storica ottenibili; e) i valori associativi con monumenti della stessa classe o di altre.

I temi da affrontare sono dunque complessi: l’integrazione del nuovo nel contesto archeologico; la tutela materiale sia di quanto si vede sia di quanto   ancora sepolto. Il gi  descritto conflitto tra i valori, i rischi derivanti dallo scavo e dalla presentazione del sito, l’ampia casistica cos  come la libert  di scelta dei vari attori coinvolti nel processo comportano la non codificabilit  e la non univocit  delle decisioni da prendere, le quali pertanto si configurano pi  come etiche che scientifiche (Vaudetti et al. 2013). Minissi (1985) non a caso parla anche di un *come* delle scelte finalizzate alla conservazione, atteso che ai problemi del *perch * e del *cosa* si conserva, si sia gi  data una risposta (cfr. i capp. precedenti).

Nelle coperture archeologiche dunque restauro, manutenzione e museografia dovrebbero incontrarsi per fornire soluzioni rispettose dell’originale in senso tecnico e formale. I documenti internazionali suggeriscono l’impiego di materiali tradizionali che vengano assemblati in modo reversibile e riconoscibile ma questo pu  non bastare per articolare la relazione formale tra nuovo e antico. L’obiettivo   comunque garantire una corretta conservazione — cio  la protezione dagli agenti di degrado — e al contempo riconfigurare le rovine per non mortificarne l’identit  e fornirne letture snaturanti (Ruggieri Tricoli 2007).

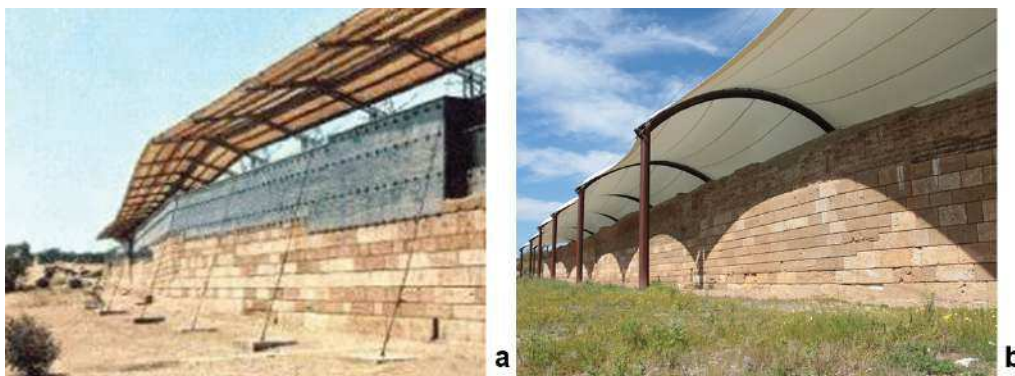


Figura 4.2: Le mura Timoleontee di Gela nella sistemazione: a) di Minissi (da [6]); b) attuale (da [7])

Le strategie utilizzabili per la conservazione di un reperto mobile, pur essendo ormai acquisite e maturate con decenni di esperienze e dibattito scientifico, sono pi  difficilmente applicabili su uno scavo, in particolare per quanto riguarda la reversibilit  e la flessibilit 

dell'intervento. Anche con interventi minimi, il terreno viene alterato dai punti di appoggio della nuova struttura ed eventuali consolidamenti rimangono integrati nei materiali archeologici (Ruggieri Tricoli 2007). La trasparenza e la leggerezza, spesso utilizzate come chiavi di lettura dell'inserimento moderno, a questo proposito possono risultare di grande efficacia figurativa e architettonica ma deleterie dal punto di vista conservativo, come è apparso negli interventi di F. Minissi a Heraclea Minoa (Figg. 3.2; 4.2; 4.2), alla villa del Casale e a Gela, oggi tutti sostituiti con nuove strutture in cui l'intento conservativo è prevalente ¹.

Una importante distinzione, ai fini dell'intervento, è da porsi tra *rovine* e *ruderi*, laddove le prime conservano una parziale leggibilità, nella forma di architettura de-composta, cioè ridotta a parti sconnesse, mentre i secondi hanno perso il legame con la loro precedente esistenza, essendosi l'edificio ridotto a qualche muro o ad un pavimento: se per la prima è possibile pensare ad una ricomposizione, il secondo ha valore solo come documento storico (Di Muzio 2010b). Più precisamente, sarebbe ingiustificato coprire, e quindi alterare, strutture che, in quanto rovine, hanno non solo una propria dignità semantica e un proprio valore d'immagine sedimentata, ma anche un funzionamento statico, spesso ai limiti di sicurezza, ma accettabile e ampiamente sperimentato dal tempo (D'Agostino e Melucco Vaccaro 1996). Qualora invece la fragilità dei materiali lo richieda, il contenuto informativo dei resti sia tale da giustificarne la fruizione e soprattutto si abbia la certezza di poter fare affidamento su un piano di gestione di durata sufficiente è ragionevolmente possibile procedere alla protezione mediante copertura.

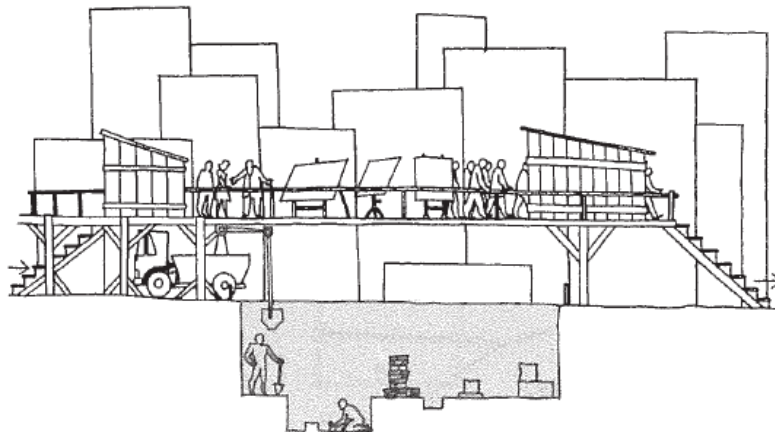


Figura 4.3: Il cantiere vivo come strumento per la comunicazione archeologica (da Carandini 2010)

Infine è da rimarcare la grande differenza di approccio al tema tra le diverse figure coinvolte nel più generale processo di valorizzazione. Carandini (2010), da archeologo, si concentra sugli aspetti didattici del sito, lasciando che la rovina si mostri per quel che è e "parli da sola". Vaudetti al contrario, da architetto, parla proprio di "allestimento" del sito archeologico, in un'ottica in cui prevale l'aspetto di fruizione e presentazione sulla

¹Per l'attività progettuale e il pensiero dell'architetto si rimanda a Vivio (2010) e Alagna (2008).

conservazione (Vaudetti et al. 2013). Ad ogni modo si è qui d'accordo con Brandi, nel suo riferirsi al restauro come «atto critico», che presuppone la conoscenza e il rapporto assiduo con il sito per poterne capire (e carpire) le qualità storiche, estetiche e semantiche (Brandi 1977), da utilizzare come guida per la composizione dell'architettura, riordinando i dati materiali e spirituali dell'antico all'interno del progetto del nuovo, così che il fruitore possa comprendere entrambi (Di Muzio 2010b).

Gli stessi obiettivi del progetto di copertura possono essere assai differenti: se per Minissi (1985) viene prima di tutto l'aspetto museale e comunicativo del sito, per Laurenti (2006) viene prima di tutto la protezione. A rigore tuttavia, non può darsi una comunicazione dei valori se prima non si provvede a conservare e ad assicurare la sopravvivenza fisica degli oggetti che quei valori veicolano, anche attraverso operazioni ad efficacia preventiva, che agiscono prima del restauro inteso, con Brandi, come "salvataggio" dell'opera. La copertura può arrestare, ma più spesso attenua e basta, l'azione degli agenti di degrado solo se il dispositivo è accuratamente progettato, realizzato, mantenuto ed utilizzato, esplicitando un'azione protettiva che è essenzialmente di smorzamento e attenuazione delle fluttuazioni climatiche esterne in modo passivo.

Per concludere si può ricordare l'immagine che archeologi e conservatori si rappresentano come situazione ideale: il "cantiere vivo" (Fig. 4.3) in cui lo scavo procede contestualmente alla divulgazione, conservazione e protezione del sito con una continua circolarità del progetto. Tanto è chiara l'idea quanto è difficile la sua pratica attuazione e il mantenimento su tempi lunghi. Tuttavia essa rende da un lato evidente la complessità anche concettuale di un intervento che deve soddisfare esigenze spesso in aperto contrasto tra loro e che ha valore nel suo svolgersi, attivo e attuale nella società, e non tanto nel creare l'ennesimo "oggetto" nello spazio antropico.

4.2 Esempi europei

La stragrande maggioranza dei contributi presenti in letteratura è sostanzialmente descrittivo, un approccio cui si fa ricorso in parte in questo capitolo, e sono numerosi i tentativi di una materia complessa e ben poco sistematizzabile: molti sono i casi, poco è in genere lo spazio assegnato alla fase di valutazione successiva a quella di pianificazione e progettazione (Roby e Demas 2012).

Il catalogo di seguito presentato non vuole essere né completo né esauriente di un ambito vastissimo ma desidera offrire una panoramica di modalità di intervento sul sito archeologico ispirate da correnti artistiche, modi di sentire, sensibilità progettuali assai diversi tra loro ma tutte, in linea di principio, ugualmente valide.

4.2.1 Italia

Domus romane Dell'Ortaglia (Brescia)

Il progetto curato da G. Tortelli e R. Frassoni del Politecnico di Milano si presenta come un'estensione del complesso museale di S. Giulia e pertanto da quello prosegue l'allestimento e il linguaggio. La copertura è costituita da un graticcio di travi reticolari in acciaio con lamiera grecata e getto di calcestruzzo collaborante. La struttura in acciaio

è interamente rivestita, in pietra all'esterno e in pannelli colorati all'interno, in modo da ottenere un ambiente controllato dal punto di vista climatico e dell'illuminazione. Il colore scuro degli interni, su cui spiccano le scritte dei pannelli didattici, permette di dare maggiore accento ai ruderi e ai reperti mentre la passerella guida il visitatore (Fig. 4.4). La copertura piana è sistemata a prato e un selciato riproduce l'impianto dell'abitazione sottostante (Tortelli e Frassoni 2005).

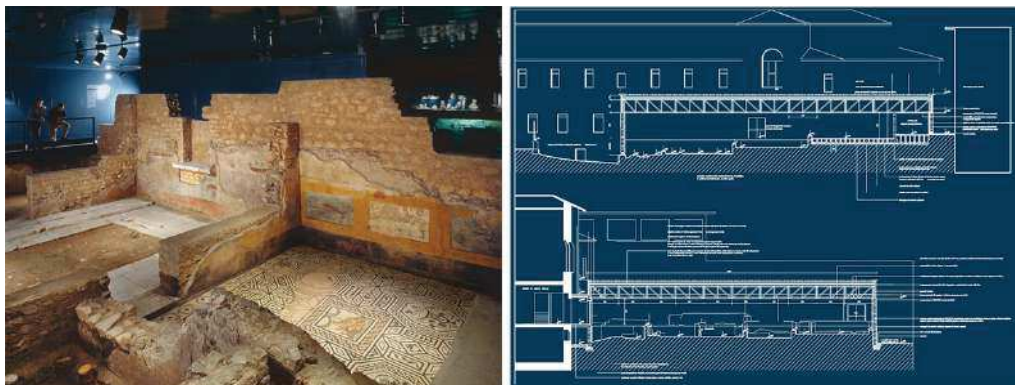


Figura 4.4: Allestimento interno e sezioni trasversali della domus dell'Ortaglia a Brescia (da [9])

Emilia Romagna e Marche

A Sarsina, sul foro romano si fa uso di una struttura di copertura piana, aperta sui quattro lati in acciaio e policarbonato. I montanti sono pilastri circolari portanti travi reticolari principali su cui si imposta l'orditura secondaria di profilati, tamponati dai fogli di policarbonato affumicati (Fig. 4.5a). È presente un contenuto sporto di gronda, sempre in acciaio e policarbonato, ma non chiuso agli angoli (Bertozzi e Capalbo 2009).

L'intervento di musealizzazione della cosiddetta Domus del Chirurgo a Rimini sfrutta ampiamente la trasparenza del vetro per limitare l'impatto delle strutture nuove sul sito archeologico e per favorire l'inserimento nel centro cittadino. La copertura è costituita da una struttura in vetro e metallo e anche i tamponamenti laterali sono ampiamente vetrati per consentire il rapporto visivo tra interno ed esterno; i vetri sono serigrafati a righe orizzontali per schermare i raggi solari. La fruizione della domus avviene mediante tre passerelle pedonali appese alla copertura che attraversano il sito allineandosi alle murature archeologiche e un percorso perimetrale che la circonda. L'intervento cerca di minimizzare la propria presenza nel contesto urbano tramite un'altezza contenuta, riprendendo i materiali del luogo (mattoni a vista) e con la copertura a verde la presenza del vicino parco (Morandini e Rossi 2005; Vaudetti et al. 2013).

La copertura della Domus dei Coiedii (Fig. 4.5b) nel territorio del comune Castelleone di Suasa (AN) si deve confrontare con un'area originariamente urbana ma oggi a vocazione agricola. Nell'impossibilità di collocare i sostegni verticali all'esterno del perimetro della casa, per la presenza di altri ritrovamenti, i montanti della copertura cadono in asse alle murature archeologiche in corrispondenza di micropali attraversanti la struttura. La copertura è di tipo reticolare spaziale, lasciata a vista internamente e rivestita all'esterno di rame patinato in verde così da integrarsi con l'ambiente circostante; lungo i lati, teli in

PVC opachi con aperture trasparenti cercano di aumentare il confinamento perimetrale; in corrispondenza dell'atrio della *domus* la struttura si alza e presenta un'apertura vetrata; lo schema viene ripetuto in corrispondenza di un'altra vasca. Invece che grossi pilastri puntiformi i progettisti e i conservatori hanno cercato di assottigliare i montanti collegandoli a più punti della reticolare, alla ricerca di una suggestione fitomorfa (Cacace et al. 1996; Laurenti in Michaelides 2003). Un percorso leggermente sopraelevato ma in appoggio sui mosaici consente la fruizione della *domus*, recentemente arricchita da limitate ricostruzioni con finalità didattiche (Morandini e Rossi 2005).



Figura 4.5: Coperture archeologiche in Emilia: a) il foro romano di Sarsina, FC (da [10]); b) la *domus* dei Coiedii a Suasa, AN (da Laurenti 2006)

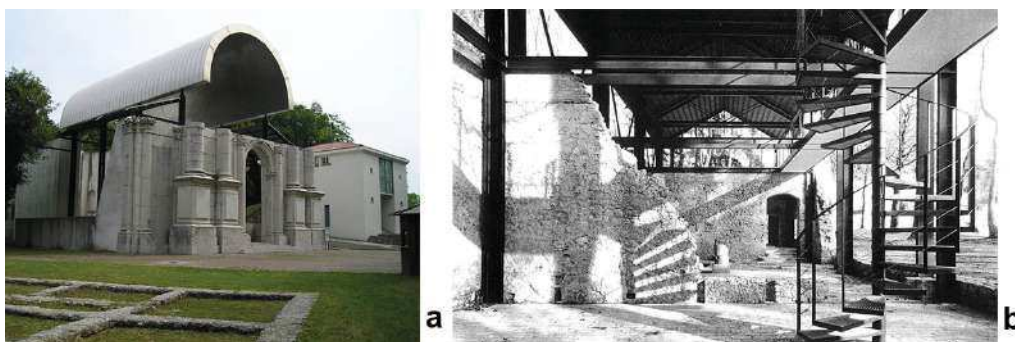


Figura 4.6: Musealizzazione nel parco del Rivellino a Osoppo, UD: a) la chiesa di S. Pietro; b) la casa del tamburo (da [11])

Coperture in Friuli

Si possono qui ricordare gli interventi in aree extraurbane a carattere boschivo. Sul sito archeologico di Castelraimondo di Forgaria (UD) è stata realizzata una la struttura in legno e metallo probabilmente con fondazioni su pali caratterizzata da un intento riconfigurativo. La basilica a Col di Zuca ad Invillino (UD) è stata protetta da una copertura a doppia falda in policarbonato sorretta da una struttura formata da travi reticolari e pilastri in ferro che vogliono richiamare l'alberatura del luogo. Sulla medesima linea, di richiamo stilizzato delle strutture preesistenti, si collocano gli interventi di P. L. Grandinetti a Osoppo per la casa del Tamburo e la chiesa di S. Pietro (Ruggieri Tricoli e Sposito 2004; Fig.4.6) e più di recente sulla *domus* di Tito Macro ad Aquileia (Fig.4.7) di cui ha curato la copertura di parte dell'edificio. Qui l'intervento utilizza una serie di pilastri calastrellati in acciaio la cui

larghezza riprende i fili delle murature archeologiche conservate, impostati su una serie di micropali posti in corrispondenza dell'asse delle murature archeologiche esistenti o delle corrispondenti fosse di fondazione laddove queste sono state spoliate in epoca antica. Oltre al manto di copertura in tegole su orditura lignea le sopravvivenze archeologiche sono protette al perimetro da frangisole orientabili posti a filo esterno delle murature; un sistema di passerelle con pavimento in vetro, sopraelevate dal calpestio antico e impostate sugli stessi micropali, consente la fruizione della *domus*.

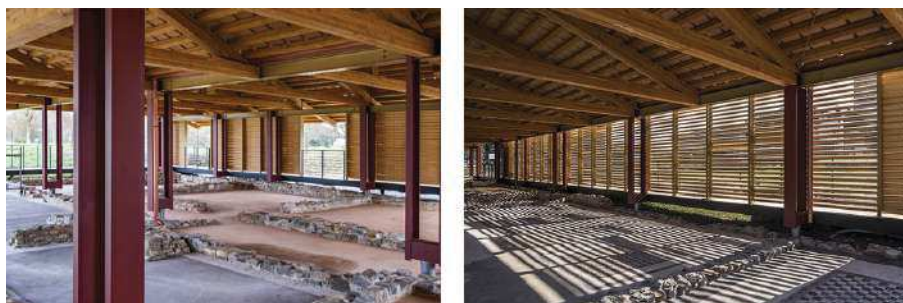


Figura 4.7: Musealizzazione della domus di Tito Macro ad Aquileia, UD (da [12])

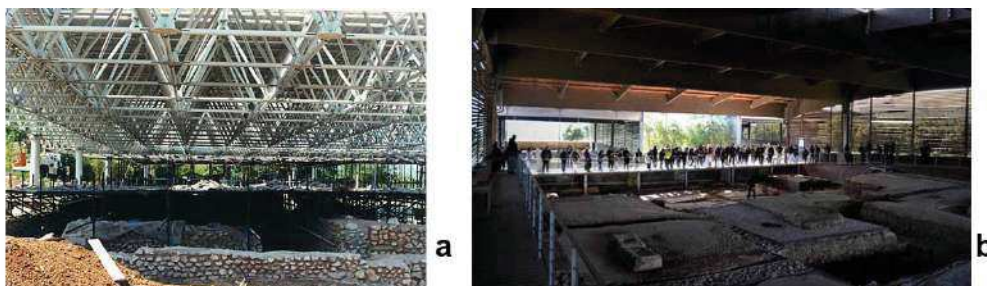


Figura 4.8: Copertura archeologiche in provincia di Frosinone: a) villa romana di Castro dei Volsci (da [13]); case della città romana di Fregellae (da [14])

Lazio

I siti archeologici laziali sono, come è naturale, innumerevoli. Vengono qui presentati due casi caratterizzati da un approccio totalmente diverso.

Scoperta nel 1984, la villa imperiale di Castro dei Volsci (FR), che testimonia fasi di occupazione dal I sec. a.C. all'Alto Medioevo è stata inizialmente dotata di una protezione provvisoria in materiale trasparente su una struttura in tubi Innocenti su plinti in calcestrutto utilizzata durante le operazioni di restauro. Della villa e delle fasi successive oggi rimangono principalmente i pavimenti poiché le murature sono ridotte quasi a raso. Il progetto di sistemazione definitiva, realizzato solo nella parte strettamente relativa alla copertura, rinuncia alle intenzioni evocative delle prime proposte e fa ricorso ad una struttura reticolare spaziale piana alta metri 2,5m poggiate su 14 pilastri tubolari in acciaio posti sui lati lunghi del sito (Fig. 4.8a). Pur garantendo la protezione dalla pioggia battente e assicurandone lo smaltimento, alcuni problemi sono evidenti, tra cui lo stillicidio della condensa che si forma sui pochi lucernari presenti, il guano degli uccelli che si posano sulla struttura lasciata a vista, lo stesso effetto della struttura metallica

a vista, molto impattante alla vista e che non si fa nessuno sforzo per dissimulare nel contesto. Essa risulta aperta su tutti i quattro lati e mancano supporti didattici adeguati a compensazione della mera funzione utilitaria del tetto (Di Muzio 2010b).

Sul sito di *Fregellae* (Fig. 4.7b), colonia latina sita nel territorio degli attuali comuni di Arce e Ceprano (FR), distrutta dai Romani nel 125 a.C. è stato realizzato un parco archeologico dedicato alle abitazioni signorili sorte nei pressi del foro della città. Le strutture di copertura, rese necessarie dalla fragilità dei materiali impiegati (terra cruda e tufo per gli alzati, terra battuta e *opus signinum* per i pavimenti) cercano di rievocare il tessuto urbano antico per altezza e disposizione dei volumi. I padiglioni presentano montanti in acciaio posti lungo le pareti divisorie tra le *domus*, su cui si imposta la struttura orizzontale a graticcio in legno lamellare, priva di sostegni intermedi, dalla quale la copertura vera e propria, leggermente ondulata, si distacca consentendo l'aerazione. All'interno, un lucernario cade in corrispondenza dell'impluvio antico, offrendo anche una sintetica immagine ricostruttiva del dettaglio architettonico di questa porzione della casa utilizzando elementi di ricostruzione modellati su quanto rinvenuto in sito. Molto particolare è la scelta di aver lasciato i lati corti delle *domus*, corrispondenti ai fronti sul giardino e sulla strada, completamente liberi e invece di aver chiuso con un frangisole ligneo i lati lunghi, ciechi perché condivisi con le altre case, suggerendo in questo modo i rapporti chiuso-aperto dell'architettura antica. Le strutture archeologiche sono state riordinate con integrazioni murarie a secco e la stesura di ghiaia per delimitare i vari ambienti (Morandini e Rossi 2005).



Figura 4.9: Coperture archeologiche ad opera di F. Petacchia: a) nel centro di Isernia; b) a Roccaravindola, IS (da [15])

Coperture archeologiche in provincia di Isernia

Nell'area di Isernia è presente un gruppo di coperture archeologiche appartenenti alla corrente decostruttivista opera dell'arch. F. Pedacchia (De Sessa 1998; Fig.4.9). Gli interventi dimostrano senza dubbio coraggio dal punto di vista architettonico, cercando la rottura con il contesto e giocando con forme scomposte e colori accesi dissonanti, ma non hanno "cura" in senso stretto del sito poiché non provvedono né alla riconfigurazione della spazialità antica, né forniscono un supporto ai valori educativi del sito o ne reinterpretano degli elementi, né infine garantiscono — se non in minima parte — la protezione dei materiali archeologici ancora esistenti. Le linee inclinate, i movimenti diagonali e la disposizione dei punti di appoggio non seguono in alcun modo, pur nel loro linguaggio, gli allineamenti

preesistenti e non si sforzano di suggerire la volumetria antica ma seguono una logica tutta interna al progetto. Inoltre, nessuna delle opere ha riscontrato apprezzamento di pubblico, proprio in conseguenza dell'alto grado di "novità" da esse apportato.

Caso rappresentativo è il rudere della chiesa di S. Michele a Roccaravindola (IS) è costituito dalle pareti perimetrali, una porzione di facciata e l'abside affrescata tutti conservati per una discreta altezza fuori terra. L'intervento consiste di sorta di vela triangolare, in polycarbonato ed eternit, a coprire la zona della piccola abside, sorretta da cavi tesi tra profilati d'acciaio di diversa sezione e un pilastro inclinato in cemento armato. Gli elementi portanti e le travi sono dipinti tutti a vivaci colori primari e sporgono vigorosamente dai limiti del sito in modo da richiamare l'attenzione anche dall'esterno, un ruolo attrattore confermato anche dai cancelli colorati posti a chiudere le porte dell'antica chiesa (De Sessa 1997). L'inefficacia dell'intervento conservativo, è dimostrata dal fatto che già dopo pochi anni alcuni affreschi sono stati staccati per conservarli altrove, altri sono in pessime condizioni e alberi ed erbacce prosperano sul sito².



Figura 4.10: Coperture archeologiche di tipo leggero a Pompei: a) struttura provvisoria in metallo con manto in onduline sulla casa VI,9,7; b) struttura definitiva in metallo con manto in fibrocemento sulla palestra al VIII,2,22 (da [17])

Pompei e Ercolano

Gli scavi di Pompei offrono un'amplissima gamma di coperture protettive frutto delle diverse epoche di realizzazione e delle diverse filosofie di intervento (Fig.4.10); in base a questo criterio si possono infatti riconoscere ricostruzioni filologiche, riprendendo l'andamento delle coperture originali sulla base delle tracce archeologiche e della letteratura (es. casa di Casca Longus); proposte di ricostruzione con l'impiego di materiali moderni su ipotesi ragionevoli (versione più moderna, come la recente sistemazione della Casa del Criptoportico); semplici protezioni dove non si ha traccia del tetto originale. Facendo riferimento ai materiali si coprirebbe invece quasi l'intera gamma di soluzioni, con strutture portanti in calcestruzzo, legno, acciaio e laterizio e manti di copertura in tegole, laminati plastici, polycarbonato, vetro, metallo, fibrocemento. Negli anni Settanta in particolare sotto la direzione di F. Zevi viene abbandonata la ricostruzione integrale delle *domus* secondo generici schemi vitruviani o limitandosi ai pochi ambienti decorati, con l'impiego diffuso del calcestruzzo e materiali edili di produzione industriale (travetti in laterizio

²Valente, F. *Nel Molise che Sogno, Pescolanciano è niente di fronte al massacro di Roccaravindola. Sempre con i soldi dei cittadini...*, 2014; reperibile su [16]

armato, travi tipo Varese, putrelle) e si procede con la costruzione di strutture leggere in scatolari metallici e lastre di fibrocemento disposte in modo da richiamare volumi, altezze e disposizione delle falde come dovevano essere in origine (casa di Marta e Venere, casa dell'Orso Ferito e del Larario di Achille) (Cerulli Irelli 1985).

Già nell'Ottocento, dopo la direzione di Fiorelli, il quale non accetta la sovrapposizione tra nuovo e antico per eccessivo rispetto di quest'ultimo, vengono ricostruite in modo filologico alcune case, anche se si tratta esclusivamente delle più ricche e più suggestive (dei Vettii, delle Nozze d'Argento, degli Amorini Dorati). L'impiego del cemento armato può essere ben esemplificato dalla casa di Giulio Polibio (IX,13,1-3) dove non solo gli elementi di alcune porzioni del tetto, ricostruiti con effettiva attenzione filologica, ma anche parti della decorazione di elevato, come le lesene della partitura decorativa dell'atrio, sono state rifatte in cemento, tamponando poi il resto con muratura di ricostruzione (Fig. 4.11); recenti attività di restauro hanno rivisto le stesse coperture, completando la piccola orditura in legno e rimettendo in opera le tegole; il resto della *domus* è ancora protetto da una struttura in tubi innocenti con manto di copertura traslucido.

A Ercolano, l'attività di A. Maiuri segue invece un doppio criterio a seconda del livello di conservazione delle strutture archeologiche rinvenute in corso di scavo, così in certe case i tetti sono stati ricostruiti ad imitazione degli originali, in altre invece la ricostruzione si è arrestata al primo solaio che viene utilizzato come tetto degli ambienti sottostanti. Il problema in questo caso è rappresentato proprio dalla copertura piana che richiede un elevato onere manutentivo ai fini della conservazione in efficienza, che quasi mai si è in grado di garantire, così come non è una soluzione vantaggiosa dal punto di vista conservativo avere l'impluvio che drena verso l'interno (Pesaresi e Massari in Aslan et al. (2018)). Gli interventi più recenti vedono la sostituzione delle coperture di ricostruzione di cemento armato con altre in legno lamellare, una soluzione da alcuni ritenuta critica poiché anche questi materiali richiedono una discreta manutenzione e non sempre consentono l'accesso in sicurezza alla copertura.



Figura 4.11: Coperture archeologiche di tipo pesante. La ricostruzione dell'atrio della casa VI,15,1 in cemento armato (a) e nella recente sostituzione in legno lamellare (b; da [17])

Un caso molto particolare è rappresentato dall'*insula* dei Casti Amanti (IX, 12), il cui scavo è stato intrapreso a partire dal 1987 dopo che ne era stata messa in luce la facciata da V. Spinazzola negli anni Cinquanta (Fig. 4.12). Il grande edificio, portato alla luce progressivamente e con tecniche aggiornate, è attualmente protetto da una struttura in tubi innocenti con copertura in lamiera grecata che consente, a prezzo di un certo impatto

visivo, di svolgere un'importante ruolo di supporto allo scavo e alla fruizione del sito. Una passerella, di servizio e di visita, è sospesa infatti al soffitto mentre le murature che vengono progressivamente portate alla luce sono stabilizzate mediante bracci ancorati alla copertura così da non dover ricorrere a puntelli e quindi ingombrare l'area di cantiere (Morandini e Rossi 2005).

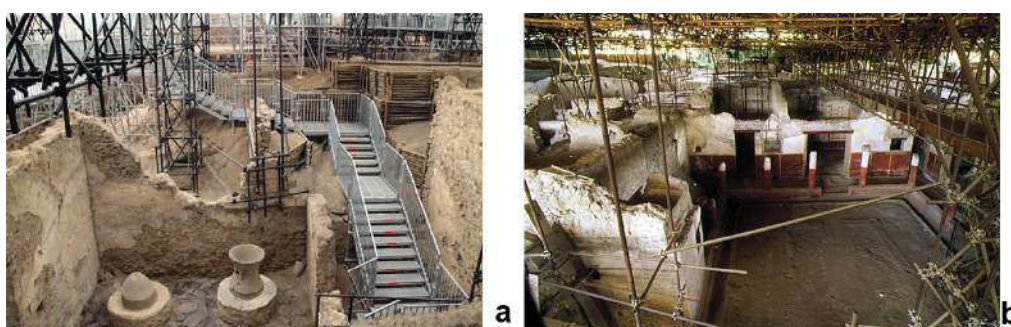


Figura 4.12: La copertura-cantiere dell'*insula* dei Casti Amanti a Pompei (da [18]; [19])



Figura 4.13: Musealizzazione della villa del Casale nella versione progettata da Minissi poco prima del suo smantellamento. È evidente il deterioramento materico e funzionale della struttura

Sicilia

Tra gli innumerevoli siti siciliani è quasi obbligo ricordare la Villa del Casale di Piazza Armerina. La villa ha notevolissimi pregi dal punto di vista del valore storico-artistico, per la sua eccezionalità; estetico, grazie ai pavimenti decorati e all'ambiente circostante; scientifico grazie al buono stato di conservazione; simbolico e sociale per l'immediatezza delle figure presenti. Alla conclusione della scavo in estensione, alla fine degli anni Cinquanta, l'architetto F. Minissi progetta e realizza la protezione del sito tramite una struttura metallica palesemente moderna, leggera e chiusa da pannelli traslucidi in plastica che riformula (non ricostruisce) gli spazi in cui si situano i mosaici. L'obiettivo era quello di enfatizzare la qualità dei mosaici, eliminare il calpestio su di essi fornendo il minimo grado di interpretazione della spazialità originale.

I principali problemi emersi nel corso del tempo sono di natura sia conservativa che interpretativa (Fig. 4.13). In particolare risaltano: la presentazione del complesso come fosse una singola fase costruttiva; l'insufficiente presentazione dei metodi di scavo e documentazione; l'effetto serra creato dalle tamponature trasparenti — oggi smantellate —; la

prevalenza data ai mosaici rispetto a tutti gli altri aspetti di pregio della villa; la mancanza di un sistema di climatizzazione; l'obbligatorietà del percorso di visita; l'eccessiva illuminazione, sia dal punto di vista della conservazione sia dal punto di vista della ricostruzione della qualità degli antichi ambienti (De La Torre 1997; Stanley Price e Jokilehto 2001).

La soluzione di Minissi, uno dei più notevoli esempi di *copertura riconfigurativa* è di ricorrere a pilastri sottili, impostati su semplici piastre in appoggio o con delle mensole su murature di sacrificio, che con la loro fitta trama vanno a descrivere l'architettura originale molto meglio di quanto potessero fare pochi pilastri isolati. Non è quindi solo una copertura ma una più sottile ricostruzione volumetrica, che aiuta il visitatore a formarsi un'idea dell'originale. Negli anni Ottanta il perspex originale è stato sostituito dal plexiglas e nella stessa occasione sono stati rimossi i controsoffitti traslucidi che avevano la funzione di mascherare le capriate del tetto e sfumare le ombre da queste generate. Minissi ha cercato di ricreare, completandoli, — non di ricostruire — i volumi degli ambienti antichi utilizzando materiale che fosse palesemente nuovo, proteggendo i mosaici, utilizzando il massimo di luce naturale e consentendo la visita senza che si dovesse camminare sui pavimenti e in modo da godere della decorazione da un punto di vista rialzato. Tuttavia, la buona idea di Brandi e Minissi si è rivelata col tempo non esente da difetti (N. S. Price in De La Torre 1997; Price e Ponti in Michaelides 2003).

Dal punto di vista della conservazione, l'aspetto più critico è risultato l'effetto serra generato dall'involucro trasparente, causa di fortissime escursioni di temperatura e umidità. Tuttavia è dal punto di vista della fruizione che l'intervento sembrava insoddisfacente. La percezione del sito risultava distorta dal percorso di visita e dall'involucro i quali facevano percepire la villa come il risultato di un unico episodio costruttivo, non davano spazio che ai mosaici mentre anche altri apparati decorativi sono presenti (affreschi), alteravano in modo significativo la percezione degli spazi, sia in rapporto alle condizioni di illuminazione (originariamente una penombra) che di fruizione, a causa del percorso fortemente vincolato e collocato ad un'altezza irrealistica dal pavimento.

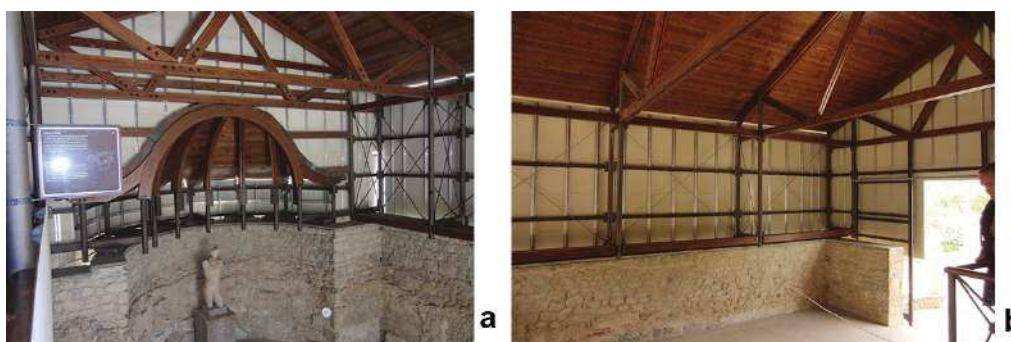


Figura 4.14: Musealizzazione della villa del Casale nel recente intervento di aggiornamento

Nell'operazione di "derestauero" condotta in epoca recente, in linea con la natura di soluzioni a termine e mai "definitive" in senso assoluto ma sempre passibili di migliorie e aggiustamenti, si è rinunciata alla trasparenza optando per rivestimenti opachi, in modo da ripristinare anche l'effetto di luce soffusa antica e garantire maggiore protezione dal punto di vista termoigrometrico. Gli elementi portanti verticali sono stati sostituiti ed è

stato aggiornato lo schema statico, rendendolo più rigido, e anche le coperture sono state interamente rifatte con strutture reticolari leggere in legno per richiamare — dal punto di vista materico ma non strutturale — l'antico (Di Muzio 2010b; Fig.4.14).

Nell'area archeologica di Kamarina (Fig. 4.15), dove al momento sono in opera semplicissime strutture giunte ormai a fine vita, lo studio di architettura ACA di Catania ha presentato un progetto che si inserisce nel solco del *lining out* 3D perseguito di recente anche da E. Tresoldi per la chiesa di S. Lorenzo Maiorano a Siponto (Fig.4.16). La struttura in acciaio che richiama in modo scarnificato l'architettura antica, nella sua composizione di colonnato, trabeazione e timpano viene rivestita da rete metallica stirata che delimita il volume senza chiudere completamente il rapporto tra esterno e interno; in corrispondenza della fascia di trabeazione la rete è più fitta in modo da mascherare l'impiantistica connessa all'illuminazione e al tetto fotovoltaico. Quest'ultimo in particolare è formato da vetri, regolabili in termini di opacità e colore, con celle fotovoltaiche integrate montati come fossero tegole, senza tavolato sottostante così da consentire la ventilazione.



Figura 4.15: Viste di progetto della copertura della stoà nord nell'archeologica di Kamarina (da [20])



Figura 4.16: Vista notturna e diurna della ricostruzione evocativa in maglia d'acciaio della chiesa di S. Lorenzo nel parco archeologico di Siponto a Manfredonia (rispettivamente da [21] e [22])

4.2.2 Ricostruzione post-sisma

Anche i terremoti offrono, nostro malgrado, l'occasione per affrontare la ricostruzione di edifici prematuramente ridotti allo stato di rudere, dove il valore affettivo e l'uso prevalgono su ogni altra considerazione. Tuttavia, nel caso delle architetture a carattere

rurale o secondario, non sempre si ha disposizione materiale documentale tale da poter intraprendere una ricostruzione filologica e l'impiego di apparecchiature murarie irregolari impedisce l'anastilosi (Doglioni 2008). Di converso, anche per gli edifici a carattere monumentale non si può escludere a priori la possibilità di rinunciare alla completa ricostruzione optando piuttosto per la rievocazione dell'immagine e la riconfigurazione dei resti, anche nell'ottica di un aumento delle prestazioni di sicurezza³.

Differentemente dalla rovina, che è il rudere la cui immagine è potuta sedimentarsi storicamente e quindi essere accettata come richiamo del passato, la maceria è recente ed è il risultato di un evento traumatico che non si accetta e che, al contrario si cerca di rimuovere per ritornare alla situazione precedente alla crisi (Augè 2004). Di seguito vengono ripercorse sinteticamente alcune esperienze progettuali di ricostruzione e riconfigurazione post sismica, relative agli avvenimenti più recenti (Fig.4.17).

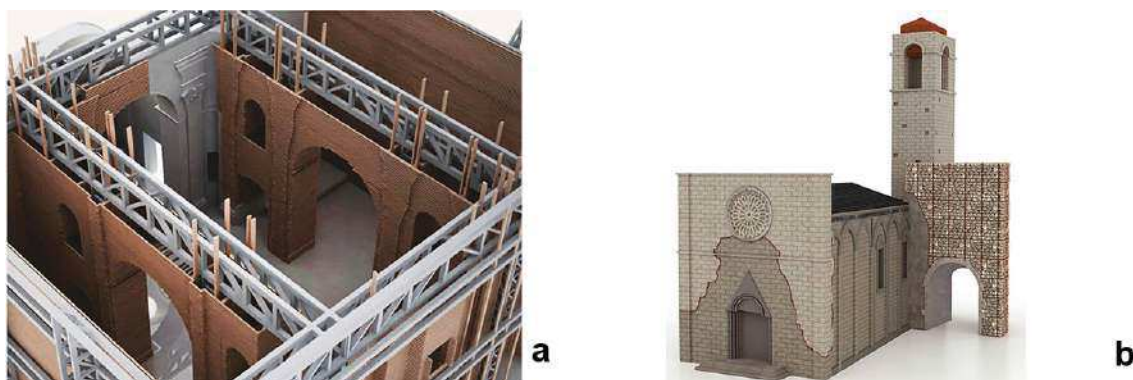


Figura 4.17: Proposte di ricostruzione di edifici distrutti dal sisma: a) S. Gregorio a L'Aquila (da Marsugli 2015): b) Sant'Agostino di Amatrice (da Sanfilippo e Romano 2018)

San Gregorio Magno, L'Aquila

La chiesa della frazione S. Gregorio di L'Aquila è stata quasi completamente distrutta dal sisma, ad eccezione della porzione absidale. Trattandosi di un edificio di un certo interesse artistico ma di cui non si avevano materiali né storici né grafici tali da poter intraprendere la ricostruzione, si è ritenuto più opportuno proporre un edificio nuovo individuato tramite un concorso di progettazione. Tra le diverse proposte pervenute, appare particolarmente interessante quella di Marsugli (2015), anche se poi la procedura concorsuale ha decretato un diverso vincitore. La nuova struttura è interamente in acciaio ed è pensata per non gravare sui lacerti murari perimetrali ancora esistenti ma proteggerli. Dai quattro pilastri centrali, posti in corrispondenza dei pilastri della navata originaria, si dipartono le travi reticolari orizzontali del tetto cui è appesa la struttura della chiusura perimetrale, anch'essa in acciaio. Il rivestimento è formato da assicelle di legno lasciate a fuga larga che, mediante leggeri risalti, richiamano alla memoria le partiture originali della chiesa.

³Un dibattito di questo tipo è stato aperto su uno dei monumenti più noti dell'area colpita dall'ultimo terremoto, la cattedrale di S. Benedetto a Norcia.

Sant'Agostino, Amatrice (RI)

Anche in questo caso, di per sé, l'edificio rientrerebbe nel campo dell'architettura cosiddetta "minore", tuttavia per l'importanza che riveste questa chiesa nell'immagine e nella vita di Amatrice, è sembrato più opportuno riproporre quasi integralmente l'immagine originale e lavorare invece in maniera più autonoma sugli altri elementi del complesso quali il campanile e la porta urbana annessa alla chiesa (Sanfilippo e Romano 2018). Proprio per quest'ultima, in conseguenza della completa perdita del manufatto, travolto dal collasso del campanile, e per via della sua semplicità di linea, le autrici propongono una riconfigurazione tramite il recupero dei materiali lapidei e il loro inserimento entro gabbioni in acciaio supportati da una struttura altrettanto metallica, così da conservare la leggibilità di insieme, i cromatismi e i materiali ma aggiungendo alcune fresche interpretazioni moderne.

Torre medicea, Santo Stefano di Sessanio (AQ)

La torre è posizionata al culmine del colle su cui sorge il borgo, ha pianta cilindrica e prima del terremoto del 2009 raggiungeva un'altezza di circa 20 m. Utilizzata come punto di avvistamento nell'Alto Medioevo, la sua forma attuale è dovuta alle risistemazioni di epoca angioina (coronamento a beccatelli) e ad un generale restauro avvenuto al momento del passaggio del borgo di S. Stefano in mano medicea.

Il crollo è dovuto con ogni probabilità all'effetto dirompente sulla muratura del pesante solaio di copertura in laterocemento, aggiunto a metà Novecento, e ha lasciato in piedi solo un grosso lacerto di altezza variabile. L'intervento di messa in sicurezza delle parti ancora in piedi ha voluto anche riprendere, mediante un'impalcatura di tubi innocenti, la volumetria della torre caduta, ripristinando il profilo verticale del borgo (Fig. 4.18).



Figura 4.18: La torre di S. Stefano di Sessanio prima del crollo e dopo la sua rievocazione con i tubi innocenti (da [24])

4.2.3 Grecia e Vicino Oriente

Cnosso

Un esempio relativamente precoce di copertura archeologica di un sito esteso è rappresentato dalle ricostruzioni di A. Evans sul palazzo di Cnosso a Creta, da lui scavato, con alcune brevi interruzioni, dal 1900 al 1930. L'opera di copertura viene sollecitata, a partire dal ritrovamento della sala del trono, dalla fragilità dei materiali archeologici — legno, terra cruda, gesso, intonaci — dapprima mediante strutture temporanee e semplificate, successivamente con costruzioni a carattere permanente in muratura e cemento armato anche di una certa altezza — fino a due piani — spesso frutto della libera interpretazione di Evans e dei suoi collaboratori dei ritrovamenti, ad esempio degli affreschi. Per quanto molto controverso dal punto di vista dell'interpretazione dei resti materiali del palazzo, della presentazione delle diverse fasi storiche del sito — che non viene fatta, poiché vien dato valore solo al periodo minoico —, dal punto di vista della conservazione sia dei resti archeologici su cui gravano le nuove (e pesanti) strutture sia delle stesse ricostruzioni ormai deteriorate, l'intervento di restauro ha ormai una propria autonomia storica e concettuale, ingombrante se si vuole, ma da farsi oggetto delle strategie complessive di gestione del sito (Papadopoulos 1997).

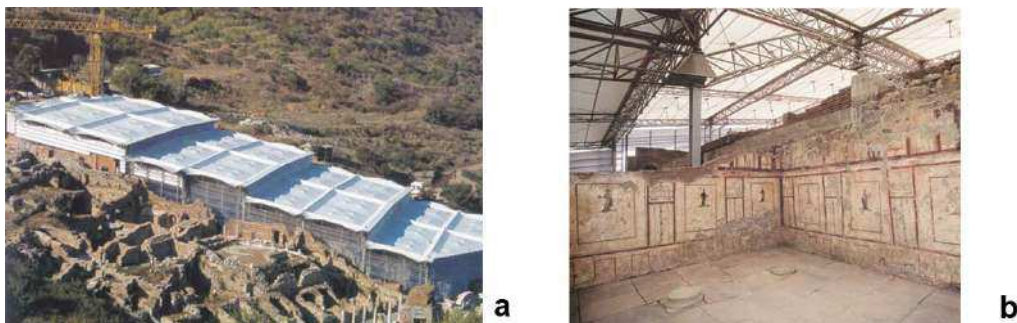


Figura 4.19: Efeso, copertura delle case a terrazza: a) vista dall'esterno (da Marsugli 2015): b) vista dall'interno (da Aslan et al. 2018)

Efeso, Case terrazzate

Le case contenevano ancora significativi resti di pitture murali, mosaici e oggetti di uso quotidiano al punto da creare un quadro abbastanza vivido di come poteva svolgersi la vita dei loro antichi abitanti. L'intervento di protezione definitivo, iniziato nel 1979, ha visto la costruzione di tetti a falde in cemento armato e legno, con copertura in tegole, disposti secondo la distribuzione in pianta delle case impostandoli sulle antiche murature localmente reintegrate con nuovi mattoni. L'intervento in realtà non è stato portato a termine a causa delle polemiche sulla scala del manufatto, sul suo impatto visivo nel contesto urbano e naturale, ancora ben preservati, di Efeso (M. Demas in De La Torre 1997) ma soprattutto perché le strutture sopravvissute non erano in grado di dare informazioni sufficienti per la ricostruzioni degli alzati, lasciando eccessiva arbitrarietà a chi interveniva (Aslan et al. 2018).

Dopo un progetto che prevedeva la realizzazione di una struttura in cemento armato con

il tetto inerbito, a ripristino del profilo della collina, la soluzione finale è ricaduta su una struttura a telaio in acciaio, copertura a membrana in PTFE rinforzato con fibre di vetro e pannelli in polycarbonato trasparente o opaco (Fig.4.19). I sostegni in acciaio, su fondazioni in cemento armato, sono posti al perimetro e metà dell'isolato, laddove l'assenza dei mosaici pavimentali lo consentiva, e portano le travi reticolari principali che seguono il profilo digradante del terreno, su cui poggiano le travi poste lungo le curve di livello a formare una sorta di sistema a sheds. La membrana è tesa lungo le diagonali delle campate mentre al perimetro i pannelli in polycarbonato consentono la ventilazione e al contempo proteggono dal soleggiamento diretto, essendo opachi quelli più in alto, ma lasciano passare la luce, essendo trasparenti quelli in basso. A parte l'impatto paesaggistico della grande copertura bianca sul fianco della collina e la facilità per l'avifauna di intrufolarsi all'interno, la copertura è giudicata efficace sia per l'illuminazione degli interni sia per il microclima, adeguato sia per i resti sia per i visitatori; la struttura inoltre è di facile manutenzione, anche se richiederebbe la sostituzione di alcuni pannelli ormai opacizzati (Bellibaş in Aslan et al. 2018).



Figura 4.20: Santorini, copertura dell'insediamento di Akrotiri: a) vista dall'esterno (da Doumas 2013); b) vista dall'interno (da [1])

Akrotiri, Santorini

Il sito archeologico della città cicladica sepolta dall'eruzione del vulcano dell'isola e scavata tra gli anni Sessanta e Settanta, presenta una copertura realizzata alla metà degli anni Novanta in sostituzione di una struttura precedente fortemente degradata dall'aggressività dell'ambiente marino. La scelta dei progettisti greci è stata di ripristinare il profilo della collina sbancata per accedere ai livelli archeologici utilizzando una sequenza di 13 campate reticolari leggermente arcuate ad interasse alternato largo-stretto coperte da un manto di terreno successivamente popolato con la flora locale (Fig.4.20). La struttura reticolare spaziale di copertura, grazie alla sua uniformità, consente di poter collocare i pilastri impostati su pali di fondazione quasi liberamente, determinandone la posizione in rapporto al sito archeologico. Poiché il sito, una volta completata la copertura, risulta completamente confinato è possibile garantire il controllo climatico interno, sia dal punto di vista dell'irraggiamento solare sia da quello della temperatura. Le reticolari presentano aperture a nastro rivolte a nord, ulteriormente controllate da frangisole in legno, per limitare il guadagno energetico. Le stesse aperture funzionano anche da espulsione dell'aria calda interna mentre quella esterna viene preventivamente raffrescata facendola passare nel terreno durante la notte. Ne risulta una differenza di temperatura costante con

l'esterno di circa 6 ° C in meno, così da favorire la conservazione e anche l'esperienza di visita (De La Torre 1997; Doumas 2013).



Figura 4.21: Paphos, vista interna della copertura della casa di Dioniso (da [23])

Paphos, Cipro

Le rovine delle abitazioni della città greca di Pafo, antica capitale di Cipro, ospitano numerosi preziosi mosaici tra i quali quello di Orfeo e di Ercole e l'Amazzone nella casa di Orfeo, datata al II-III sec. d.C. Negli anni 1989-90 i due ambienti ospitanti i mosaici sono stati protetti da una struttura sperimentale, ideata da N. Agnew e qui alla sua seconda applicazione, denominata *hexashelter* (Agnew et al. 1996). Essa consiste di un modulo esagonale formato da tubolari in alluminio collegati in modo che i vertici successivi non giacciono sullo stesso piano ma siano alternativamente più alti o più bassi del piano medio in modo da conferire maggiore rigidità torsionale alla struttura. I vertici in alto sono collegati a triangolo da un cavo di acciaio mentre ai tre in basso vanno connessi i supporti verticali per portare la struttura all'altezza voluta da terra. Le fondazioni sono semplici blocchi in cemento, in cui sono annegati i pali, direttamente in appoggio sulla superficie del terreno archeologico, il quale rimane così intatto. Il sistema è messo in tensione da cavi in acciaio, anch'essi collegati all'estremità a blocchi in cemento, che supportano anche i teli formanti il manto di tenuta vero e proprio. La soluzione è ritenuta semplicemente temporanea e la protezione che consente è stata valutata dai suoi autori come non del tutto efficace, soprattutto nei confronti della pioggia di stravento, vista la vicinanza al mare del sito. Ad ogni modo la struttura è stata realizzata con risorse (umane ed economiche) contenute e tempi ristretti (Stanley Price 1991). Ad oggi l'*hexashelter* è stato smantellato. Nella vicina casa di Dioniso è stata realizzata nel 1977 una struttura protettiva completamente chiusa, che allude, nei soli volumi e nell'impostazione planimetrica, all'edificio antico (Fig.4.21). La struttura è in legno, costruita lungo gli allineamenti murari antichi, risistemandone le creste, internamente rivestita da perline in legno e aperta al perimetro da una bassa finestra continua. Viene mantenuta la corte centrale aperta, contornata da spessi infissi in legno mentre la fruizione è garantita da una doppia passerella con parapetti in legno che corre al perimetro degli ambienti; laddove esiste uno dei mosaici più grandi e spettacolari la passerella assume le forme di un ponticello per migliorare la

vista. L'effetto è forse eccessivamente rustico per una raffinata *domus* ellenistica, non viene ripresa l'illuminazione antica, l'attenzione è focalizzata sui mosaici, i percorsi alterano la percezione degli spazi e i problemi di drenaggio che sono stati solo recentemente risolti (Solomidou-Ieronymidou, Kaldeli e Charalambous in *Protective shelters for archaeological sites*).



Figura 4.22: Tell Mozan (Urkish) la copertura di protezione delle murature parzialmente scoperta a rivelarne la struttura metallica interna (da [25])

Tell Mozan, Siria

Nello scavo dell'antica Urkesh è stata utilizzata una struttura di protezione appositamente concepita per le grosse murature in terra cruda. Essa è formata da un'intelaiatura di ferro, posta a cavallo dei resti, su cui vengono stesi teli di stoffa pesante (Fig.4.22). I due problemi principali del sito sono il vento, che asciuga i ruderi, e la pioggia, che li scioglie; per la prima si è proposto di rinforzare le giunture e gli angoli con rete metallica, per la seconda di inserire fogli di lamiera o plastica sotto il telone che poi si sono tradotti in un vassoio di raccolta dell'acqua (che può servire anche per la regolazione dell'umidità in estate) e in un telo di plastica messo direttamente a contatto con la muratura in terra. Sul posto sono conservati anche oggetti o elementi importanti per la stratigrafia posti al riparo da scatole metalliche o di vetro. I pavimenti originali sono stati coperti con uno strato di terreno di riporto e poi resi calpestabili dei quadroni in cemento posati con diverse larghezze di giunto in modo da identificare le diverse zone funzionali originali (Buccellati in Agnew e Brigland 2006).

Giordania, il memoriale di Mosè

Si tratta di un sito archeologico posto sulla sommità del monte Nebo dove all'incirca dal IV sec. è attestato il culto di Mosè, che qui dovrebbe essere sepolto. Interessato da scavi

sin dalla seconda metà dell'Ottocento, il luogo è stato sistematicamente esplorato a partire dagli anni Trenta, portando alla luce un notevole complesso edilizio formato da chiesa e annesso monastero, caratterizzato dalla presenza di mosaici di elevata qualità (Michaelides e Guimier-Sorbets 2017; Sabelli 2014). Parte per l'interesse archeologico, parte per l'interesse turistico del sito, parte infine per il ruolo identitario in rapporto alla comunità cristiana del luogo che ha comportato la riattivazione del culto, già dagli anni Sessanta era stata realizzata una struttura protettiva chiusa in carpenteria metallica e onduline in cemento-amianto. La copertura, pur con i suoi numerosi difetti — tra cui si annoveravano o l'insufficiente protezione climatica, l'inadeguatezza a fini espositivo-didattici, la negativa interazione strutturale coi resti archeologici su cui poggiava — consentiva comunque la fruizione e la conservazione dei resti, oltre a restituire l'impressione del volume dell'edificio. La nuova copertura riprende il concetto di ambiente confinato e per la sua conformazione rievoca l'aspetto di una chiesa, venendo incontro alle esigenze della comunità locale, pur garantendo anche condizioni adeguate per la presentazione dei numerosi mosaici staccati (Fig.4.23); la maggior articolazione volumetrica rispetto alla precedente soluzione migliora anche la percezione della complessità delle fasi costruttive. Dal punto di vista più strettamente tecnico si è fatto uso di micropali posti in asse alle murature, per staccare il nuovo dal vecchio conservando i fili della struttura antica, su cui si imposta un muro "a cassetta" in cui una maglia metallica sorregge un rivestimento a facciata ventilata in pietra, lo strato isolante e il rivestimento interno leggero (Sabelli 2014)⁴.



Figura 4.23: Memoria di Mosé, vista esterna e interna parzialmente riadattato a chiesa (da [26]; [27])

4.2.4 Spagna e Portogallo

Negli interventi spagnoli spesso è riconoscibile la volontà di lasciare un segno incisivo sulla preesistenza ricorrendo a strutture di notevoli impegno strutturale e contenuto tecnologico; non mancano tuttavia interventi più puntuali e discreti.

Alla prima categoria appartengono ad esempio le grandi strutture sulla villa romana di La Olmeda a Palencia, in cui si fa ricorso a volte in struttura a grigliato piano in acciaio, vetrate traslucide continue lungo le pareti, nascoste all'esterno da un grigliato in corten (Fig. 4.24a). All'interno leggere tende e una più massiccia arcata in mattoni rievocano le antiche partizioni e i porticati mentre certi trattamenti delle superfici di

⁴Per altri siti in Israele si rimanda all'intervento di G. Solar in Michaelides (2003).

pavimento permettono di suggerire gli antichi passaggi tra interno e esterno; alcune ricostruzioni e plastici aiutano la comprensione del visitatore. La soluzione è ritenuta efficace dal punto di vista conservativo, molto meno per quanto riguarda le capacità evocative e la ricontestualizzazione del rudere che risulta all'esterno come un capannone in un contesto suburbano (Vaudetti et al. 2013). Nella villa romana di Tejada si è invece fatto ricorso direttamente all'immagine del capannone con travi reticolari su pilastri in acciaio, manto in onduline e lucernari zenitali. Ancora più aggressivo per quanto riguarda l'impatto, non solo sulla rovina ma anche sul contesto urbano circostante, è l'intervento del Parque del Molinete a Cartagena dove una sorta di leggera nuvola in policarbonato e struttura d'acciaio galleggia, e incombe, sui resti archeologici, garantendo sì una fruizione ininterrotta ma anche un notevole impatto sul sito. Per quanto riguarda la nuova struttura si tratta senz'altro di una soluzione di rilievo, in grado di esercitare un forte richiamo nel tessuto urbano circostante.

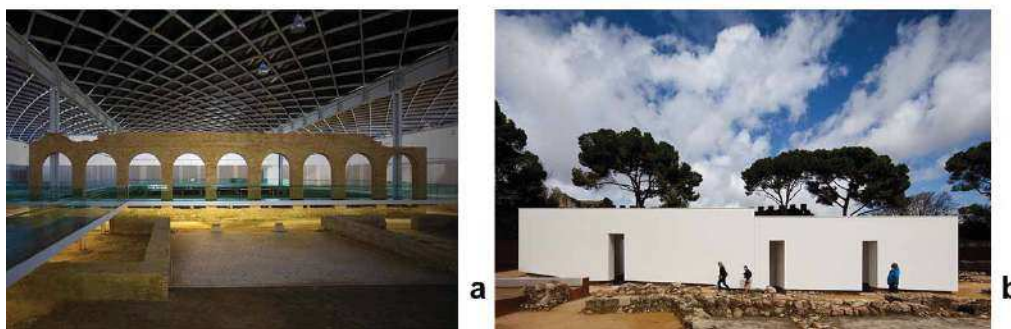


Figura 4.24: Interventi a contrasto in Spagna: a) la copertura della villa di La Olmeda a Palencia (da [28]); la copertura delle case arabe della Praça Nova a Lisbona (da [29])

Di gran lunga più misurato è il progetto di Carrilho da Graça per la Praça Nova di Lisbona (Fig. 4.24b), dove viene fatto ricorso a piccoli volumi chiari, rievocativi delle strutture scomparse e quasi sospesi sullo spiccato murario delle rovine delle abitazioni altomedievali arabe; un sistema di illuminazione zenitale operabile definisce e completa lo spazio interno. Altri casi di coperture parziali meritevoli di citazione, alla ricerca di una maggiore integrazione con i caratteri del sito, sono la *domus* del Mosaico dei Crateri a Clunia, presso Burgos, e nella Illeta dels Banyets a Campello (Alicante).

4.2.5 Austria e Germania

In Germania il primo intervento di conservazione in sito fruibile al pubblico è datato 1838 quando viene aperto il sito della villa romana di Otrang: un po' come a Bignor in Inghilterra (cfr. *infra*), quattro edifici in muratura con tetto in scandole di ardesia coprono le zone in cui erano stati rinvenuti i mosaici mentre il resto della villa viene lasciato all'aperto perimetrando il suolo erboso. Nel decennio 1870 sarà interamente ricostruito in senso filologico, con gli ovvi riferimenti alla continuità tra imperi tedesco e romano, anche il *castrum* di Saalburg.

Un sito archeologico che può essere considerato un laboratorio proprio sulla "comunicazione archeologica" è il parco archeologico di Xanten, le rovine di Colonia romana (Fig.4.25).

Qui, pur privilegiando il solo periodo romano su tutte le altre fasi vissute dall'antico abitato, sono state progressivamente messe in campo le più diverse tecniche di presentazione: dalla rovina consolidata, alla copertura protettiva con ricostruzione parziale dell'alzato; dalla ricostruzione evocativa all'archeologia sperimentale con la ricostruzione filologica di interi complessi in relazione anche allo stato di conservazione dei resti. Le grandi terme, ad esempio, sono state ricostruite impiegando un telaio di acciaio che suggerisce lo scheletro della struttura, rievocando la distribuzione dei carichi, le linee e i volumi confinando il perimetro con le vetrate; tuttavia alcuni hanno messo in discussione la reale comprensibilità della ricostruzione in rapporto alla poca cosa rappresentata dai lacerti archeologici (Sposito 2016).



Figura 4.25: Ricostruzioni parziali ed evocative a Xanten (Colonia): a) il tempio (da [1]); b) le terme (da [30])

Il pareggiamento delle murature con materiali distinguibili dall'antico e il riordino della superficie di pavimento con ghiaia colorata e alcune ricostruzioni a fini didattici trova spazio anche al di sotto di una copertura protettiva, metallica con chiusura perimetrale generosamente vetrata, a Kempten nel parco archeologico della città romana di Cambodunum; una passerella gira lungo il perimetro dell'edificio e consente la vista anche da un punto sopraelevato. Anche a Petronell in Austria sono state intraprese simili misure relative al parco archeologico della Carnutum romana, unendo ricostruzioni totali di alcuni edifici, ricostruzioni virtuali, e l'inserimento di frammenti architettonici in sito entro teche o ricostruzioni in scala reale in legno di sezioni verticali degli edifici per dimostrare la sezione costruttiva e l'aspetto finito esterno.

Numerose sono le risistemazioni di siti, spesso termali o cultuali o villerecci, in ipogeo. In questi casi si può ricorrere ad ambienti bui (Colonia, Baden-Baden, Rottenburg am Neckar) in cui l'illuminazione accentua le rovine e richiama il flusso di calore all'interno dei vari ambienti delle terme mentre l'esposizione di oggetti esalta le capacità evocative, contribuendo a spiegare la funzione e soprattutto a chiarire l'atteggiamento degli antichi frequentatori nei confronti degli edifici. In alternativa si usano ambienti fortemente illuminati dove si ricerca il contatto tra il piano ribassato di frequentazione antica e quello attuale più in alto e quindi l'ingresso della rovina all'interno della vita della città contemporanea (Treviri). In particolare a Treviri l'intervento è concepito come una grande teca espositiva che rivela alla vita della città di oggi il suo passato, ma il vetro risulta più riflettente che trasparente, vanificando questa ricerca. Alcuni pilastri della copertura incidono sulle

murature archeologiche, qua e là tagliate per aprire il nuovo percorso di visita; gli impianti sono in genere lasciati a vista (Fig. 4.26a).



Figura 4.26: Copertura archeologica di (a) le terme romane di Badenweiler (da [31]); b) le terme romane di Treviri (da [32])

Per quanto riguarda l'applicazione del vetro, due casi risultano particolarmente significativi, le terme romane di Badenweiler e la villa di Heimersheim, quest'ultima presso Friburgo (Fig.4.26b). A Badenweiler i progettisti hanno fatto ricorso ad una volta ribassata con struttura a tiranti in acciaio, tamponata con pannelli di vetro e impostata su una fondazione superficiale in calcestruzzo; la struttura è pensata per assorbire notevoli deformazioni sotto la spinta del vento. Un sistema di tende scorrevoli aiuta, assieme al trattamento riflettente dei vetri, a modulare la luce solare all'interno, che si trova dunque in condizioni di illuminazione totalmente differenti da quelle antiche. A Heimersheim invece si è fatto ricorso ad un sistema simile a quello della villa di Dorchester (cfr. *infra*), utilizzando pilastri in muratura, posti a filo esterno delle murature originali, tamponati da vetri, su cui poggia una copertura metallica aperta da un lucernario nel punto in cui doveva esserci la fontana.



Figura 4.27: Esterno e interno delle coperture archeologiche progettate da Zumthor per il sito archeologico romano di Coira (da [33], [30])

Infine, molto utilizzato è il legno, il quale, in combinazione con l'acciaio permette di ottenere strutture ben rispondenti alle esigenze del sito, poiché risultano leggere, esteticamente piacevoli e rese pregevoli dalla qualità del dettaglio costruttivo, il quale peraltro è per lo più a vista e quindi consente una facile manutenzione. Anche in questo caso esistono due categorie, una in cui la copertura tende a mimetizzarsi con il contesto urbano circostante,

come è il caso delle coperture di Bad Kreuznach o di Grenzach-Wyhlmen; un'altra in cui è privilegiata l'astrazione o la ricostruzione evocativa del volume dell'edificio antico, ricorrendo a strutture in legno leggere con controventi in acciaio, pareti con frangisole e permeabili all'aria o totalmente chiuse da grezzi tavolati, come è il caso di Coira (Svizzera; Fig. 4.27), delle coperture della Bischofskirche di Teurnia o della villa rustica di Bollendorf (Fig. 4.28a). A Coira gli ambienti rinvenuti con lo scavo vengono estrusi in verticale formando essenziali parallelepipedi con struttura a telaio in legno, a vista sul lato interno, chiusa da frangisole in legno che richiamano l'architettura circostante, e permettono una relazione ovattata con l'esterno; la fondazione è di tipo superficiale continuo in cls posta a poca distanza dalle murature archeologiche; l'illuminazione è fornita da grandi lucernari a soffitto e da un sistema di lampade lungo il perimetro dei muri. Un'area passerella distribuisce i tre ambienti, tramite una scala, e permette una visione sopraelevata.



Figura 4.28: Coperture in legno parzialmente evocative a sui complessi archeologici di: a) Bollendorf (da [34]); b) Teurnia (da [1])

In Austria le prime coperture archeologiche datano al 1913, quando vengono realizzate per proteggere i mosaici di una chiesa paleocristiana a Teurnia; queste coperture sono state rifatte nel 1959 in legno e scandole con strutture verticali in pietra (Fig. 4.28b). Motivi ricorrenti nella pratica del *denkmalpflege* tedesca ("cura dei monumenti") individuati dal Ruggieri Tricoli (2007) sono: 1) la lettura interpretativa del manufatto archeologico, nei suoi aspetti materiali e immateriali, che si traduce nella restituzione più completa dei valori del sito; 2) la sperimentazione delle metodologie di presentazione che ha come obiettivo di fondo la restituzione chiara e comprensibile delle rovine limitando il supporto della didascalìa; 3) l'inserimento del progetto di conservazione in un quadro di più generale rivalutazione culturale turistica ed economica con il coinvolgimento della popolazione locale; 4) l'uso di un linguaggio architettonico moderno per trasmettere messaggi, veicolare suggestioni e facilitare l'inserimento del sito nel contesto; 5) la sensibilità rispetto ai temi ambientali.

4.2.6 Francia

In Francia è molto noto il caso della copertura del sito di Bibracte, una cittadella fortificata gallica sulla sommità di una collina presso Autun (Fig. 4.29). L'opera è formata da moduli triangolari leggermente arcuati lunghi 3,75 m e pesanti 43 kg; i moduli si incontrano nella rispettiva mezzeria dando luogo ad una struttura inarcata e in tensione, sorretta da

pali tubolari sempre in alluminio. Il manto di copertura è costituito da una tela in PVC rinforzata con fibra di vetro che si estende anche sulle pareti verticali della struttura. Non ci sono fondazioni e il tensionamento della struttura portante e del telo di rivestimento è assicurato da grandi sacchi riempiti di sabbia o terra appesi alle estremità della struttura che contrastano coi puntoni in alluminio inseriti in gabbioni metallici riempiti di sassi; in casi di sovraccarichi eccessivi dovuti alla neve sono previsti alcuni pilastri in punti intermedi della copertura per limitare l'inflessione.



Figura 4.29: Vista dell'interno del sito archeologico di Bibracte-Mont Beuvray con la copertura in opera (da [35], [36])

La struttura è smontabile (viene montata in inverno e smontata in primavera da un numero contenuto di operatori), può assorbire differenze di quota limitate (3% circa), è modulare a piccola e a larga scala (cioè si basa su elementi modulari e il funzionamento è assicurato fino ad una superficie di 300 m², oltre i quali va riprodotta interamente), consente di essere utilizzata sia per la protezione dei resti ma anche degli scavatori al lavoro (Flourest 2012). Un'esperienza di valorizzazione molto vasta, che ha messo in campo tutta la gamma di soluzioni note (sistemazione all'aperto del terreno e delle creste murarie, ricostruzione filologico-analogica, museo sulle rovine, rievocazione mediante il verde) è il parco archeologico di Bliesbruck-Reinheim situato al confine tra Francia e Germania. In territorio francese sorge il padiglione posto a protezione e musealizzazione del complesso termale dell'antica cittadina e costruito direttamente sulle rovine. I 6 portali in acciaio rivestiti in legno sono leggermente ruotati rispetto alla preesistenza e la superano in un'unica luce e sorreggono sia la copertura leggermente curvata (da cui peraltro fuoriescono) sia il sistema di percorsi e di pannellature in legno che servono a celare e a svelare progressivamente gli ambienti delle terme, riprendendo alcuni allineamenti murari, oltre a fornire il supporto all'esposizione didattica. L'illuminazione è molto curata e serve a mettere in evidenza gli ambienti così come alcune ricostruzioni degli impianti funzionali delle terme (ipocausto, forni) e gli ambienti rispetto alle murature, queste ultime regolarizzate in sommità in modo da facilitarne la lettura. Legno e acciaio sono sempre a vista e il dettaglio costruttivo è molto curato (Accardi 2012).

Altre situazioni note sono il complesso termale di Cassinomagus-Chassenon (Fig. 4.30) e il Museo Gallo-romano di Vesunna presso Perigueux (Fig. 4.31).

Nel primo sito le coperture con struttura a capriate lignee e manto in tegole proteggono i resti di un complesso termale di notevole importanza, in uso dal I al IV sec. d.C., le cui murature si elevano ancora oggi per un'altezza che in alcuni punti raggiunge i 6 m. La struttura portante verticale in legno poggia direttamente sulle murature archeologiche

con un minimo di regolarizzazione della superficie così come all'esterno le murature sono lasciate esposte perché i pannelli di polycarbonato che chiudono le testate si arrestano in corrispondenza della cresta perimetrale; un percorso lungo le pareti esterne permette la fruizione da una posizione sopraelevata dei pavimenti e delle vasche delle terme.



Figura 4.30: Viste delle coperture sul sito archeologico di Cassinomagus-Chassenons (da [37])

Se gli interni sono in relativa penombra evocativa e qualche telone mostra viste interne di ricostruzione delle strutture, le capriate risultano incumbenti e visivamente poco pulite e ingombranti, oltre a non suggerire la forma della copertura a volta degli interni né la struttura verticale riprende la posizione dei pilastri romani. Esiste un progetto dell'architetto Antoine Renaud (Atelier Kerosene) che prevede la realizzazione di una struttura molto più ariosa, formata da una sola copertura piana in legno e vetro aperta sui lati con una passerella sospesa che permetta la vista dei resti dall'alto.

Il museo sul sito di Vesunna, a firma dell'architetto Jean Nouvel, si comporta come una teca trasparente sui lati e chiusa in alto che cerca al massimo di concentrare l'attenzione del visitatore sui ruderi senza perdere il contatto con il parco circostante. La struttura si manifesta solo lungo il perimetro e si confonde, per la sua leggerezza con i montanti delle vetrate perimetrali; all'intradosso è mascherata da un controsoffitto scuro su cui viene riprodotto a colori l'andamento delle antiche murature per aiutare il visitatore a recuperare la visione d'insieme. Al centro del padiglione un ballatoio a due piani accoglie il museo-lapidario, ospitante i reperti rinvenuti anche nella città e non solo sul posto, che fa da accesso al sito e consente la vista della villa da un punto sopraelevato; gli impianti sono nascosti e il dettaglio costruttivo è molto curato così come l'immagine estremamente pulita e fortemente tecnologica.



Figura 4.31: Vista dell'interno del museo gallo-romano di Vesunna ad opera di J. Nouvel (da [38])

Un caso molto particolare è rappresentato dalla Ville Maritime di Plassac (Fig. 4.32) in cui vengono a contaminarsi diversi linguaggi e soluzioni: sotto un tradizionale manto di tegole si avvicinano strutture metalliche dipinte di giallo acceso che richiamano l'alzato antico a due piani e ricostruzioni di colonne antiche negli spazi del peristilio (Vaudetti et al. 2013).



Figura 4.32: Vista dell'intervento di valorizzazione della villa romana di Plassac (da [39]; [40])



Figura 4.33: Chiosco per la ricostruzione virtuale in sito dell'abbazia di Ename (da Ruggieri Tricoli 2007)

4.2.7 Belgio e Lussemburgo

Risulta maggiore la tensione verso il pubblico e la sua comprensione-interpretazione-immedesimazione. In questi interventi, la ricerca archeologica ha, oltre al proprio intrinseco valore scientifico, anche una responsabilità verso la comunità, alla quale deve fornire strumenti di arricchimento, di identità e di educazione. Di conseguenza i progetti di valorizzazione in questa regione hanno minor componente architettonica e un maggior contributo interdisciplinare reso possibile dal frequente ricorso a ricostruzioni digitali

(con i loro vantaggi e svantaggi) per poter rendere fruibili siti altrimenti poco leggibili per i quali si dovrebbe ricorrere alla ricostruzione, come accade nel parco archeologico di Ennema dove pure è stata operata la ricostruzione dei primi corsi della muratura per dare maggiore visibilità ai ruderi (Fig.4.33). Qualcosa di simile è stato realizzato, anche se nell'ottica di una rivitalizzazione turistica complessiva, anche ad Echternach, dove alle murature archeologiche sono state sovrapposte strutture in pietra colmate di terra e inerbite, accostando loro parziali ricostruzioni dei peristili e un centro visitatori dalle linee sobrie e ricco di diorami e documenti.

4.2.8 Gran Bretagna

Tra le numerose musealizzazioni che comportano la ricostruzione anche di edifici romani a partire dai pochi resti rinvenuti (porta romana di Cardiff Castle di W. Burgess, Arbeia Roman Fort a South Shields) si contano anche numerose strutture protettive di resti archeologici. Tra questi il più antico e molto spesso citato è l'insieme di cottages rustici posti a protezione della villa romana di Bignor (Fig.4.34a), scoperta nel 1811 e per prima esposta al pubblico in Europa. Questi cottages forniscono una musealizzazione efficace rispetto alla conservazione dei mosaici poiché i tetti in paglia consentono una buona aerazione, meno rispetto all'aspetto concettuale degli stessi e alla comprensione del sito, poiché in effetti non richiamano l'architettura originale della villa né si preoccupano di riconfigurare la spazialità complessiva ma hanno l'innegabile pregio di essere perfettamente corrispondenti con il contesto rurale in cui si inseriscono, ciò che chiaramente risulta in netto contrasto con la posizione italiana in merito (Ruggieri Tricoli 2007): ma il punto è proprio questo, l'intervento è contemporaneo alla sua costruzione e non si rivolge mai al complesso architettonico romano come fonte di ispirazione. In condizioni quasi analoghe, anche se la sua vicenda di scavo e valorizzazione, è più vicina a noi di circa un secolo, è la villa di Chedworth. In questi complessi il vero problema è che si trovano ad interagire due passati: la villa romana e l'intervento di copertura di età georgiana o vittoriana.



Figura 4.34: Vista interne delle coperture di protezione su siti di: a) Bignor (da [30]); b) Lullingstone (da [1])

Coperture di tipo totale si rinvencono invece a Lullingstone (Fig.4.34b) e a Fishbourne (Fig.4.35a), tuttavia secondo la Ruggieri Tricoli (2007) la prima è meglio riuscita della seconda, sia dal punto di vista della musealizzazione (manca una balconata da cui vedere nel complesso il sito, i percorsi, che consentono la fruizione, sono molto invadenti sia nel sistema di sostegni fatti di spessi elementi in cls sia nei parapetti) sia da quello

della conservazione, per effetto della notevole umidità di risalita in combinazione con un'ampia vetrata rivolta a sud che favoriva la proliferazione di muffe e alghe sui mosaici oltre a provocare l'apertura di lesioni. A questi secondi inconvenienti è stato posto rimedio recentemente affiancando un porticato a colonne che ha il pregio di ridurre il soleggiamento diretto e nascondere parzialmente la facciata modernista rievocando il peristilio che in antico bordava il giardino del palazzo.

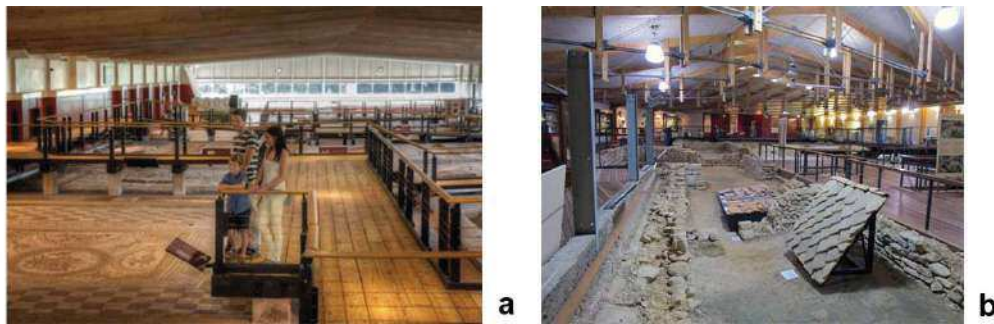


Figura 4.35: Viste interne delle coperture delle ville romane di: a) Fishbourne (da [41]) b) Brading (da [42])



Figura 4.36: Vedute dell'intervento di copertura della villa romana di Dorchester per opera dello studio John Stark and Crickmay (da [43])

Molto più critici, sotto gli aspetti della riconfigurazione e della fruizione, sono gli interventi di copertura in ambito urbano, quali la Dover Painted House e la Crofton Roma Villa. In tali siti l'involucro in mattoni e cemento non cerca mai di immedesimarsi con i resti né persegue la logica della struttura nuova né riprende in qualche modo quella preesistente; l'esterno è poco attraente e poco comunicativo di quanto c'è all'interno. Le pareti sono vetrate e la struttura di copertura è metallica (travature a parete piena o reticolari). Di effetto contrario è il piccolo intervento compiuto a Newport, che mantiene la scala del costruito residenziale circostante e ciò, assieme ai colori scuri e agli spazi in genere compressi, restituisce l'atmosfera domestica originale oltre in qualche modo a sottolineare proprio la continuità di vita dell'insediamento nonostante possa essere ritenuto altrimenti riduttivo e inadeguato.

A Brading nell'isola di Wight (Fig.4.35b) la copertura recentemente realizzata impiega il legno lamellare per le strutture, il tetto in erba per l'inserimento nell'ambiente circostante e per garantire l'inerzia termica e l'isolamento acustico, interni in legno e infissi in alluminio; l'edificio, per quanto architettonicamente rifinito e funzionale alla conservazione

(controllo climatico), in realtà non ha la minima intenzione mimetica rispetto al rudere che ricopre. Agli inizi del 2000 si è ritornati nel solco delle coperture “ambientate” al contesto più che finalizzate alla comunicazione museale con la copertura in legno a false capriate della Small House della villa di Littlecote; qui particolarmente problematico può essere ritenuto il fatto di aver impostato la copertura su fondazioni in calcestruzzo gettate in mezzo al sito archeologico, il quale si estende oltre all’area coperta. Un intervento effettivamente riconfigurativo è la villa di Dorchester dove la copertura si estende solo sulla zona dell’edificio con i mosaici mantenendo il contatto tra parti coperte e scoperte (Fig.4.36).

La struttura a pilastri in acciaio dipinti di rosso, in appoggio direttamente sulle murature, è tamponata con pannelli di vetro con una spessa bordatura; i tetti sono a forte spiovente con timpani tamponati in legno e tegole a scandole esagonali come quelle che si sono rinvenute in sito. In questo modo il sito è protetto, arieggiato, reso finito ma nel contempo totalmente permeabile nelle due direzioni, dal dentro verso fuori e dal fuori, dentro.

Ruggieri Tricoli (2007) riassume i concetti fondamentali degli interventi di protezione inglesi: 1) la precocità degli interventi che hanno saputo essere il riferimento per l’intero argomento; 2) l’atteggiamento di salvaguardia rivolto alle rovine così come al loro contesto paesaggistico, attingendo al linguaggio architettonico tradizionale; 3) accentuazione del senso di continuità dell’intervento; 4) importanza data al senso di quotidianità e semplicità della vita del passato così che sia confrontabile con l’oggi; 5) attività didattiche e allestimenti molto efficaci e mirati rispetto alle esigenze di diverse categorie di visitatori; 6) sostenibilità delle strategie, dal punto di vista della conservazione (rinterri e *lining out*, la delineazione delle murature con pietre sull’erba), del territorio (minimizzazione) e dell’economia (aggiustamenti degli interventi esistenti); 7) incorporazione nella musealizzazione di un’interpretazione, componente dell’identità, suscettibile di progressivo aggiornamento.

4.3 Le coperture: tipi e prassi operativa

4.3.1 Classificazione dell’intervento

È possibile distinguere le coperture in funzione di diversi criteri, quali l’approccio progettuale, la durata attesa in opera o il rapporto fisico che si instaura col sito, nei termini di estensione e di confinamento laterale. Anche la stessa natura del sito dà indicazioni sul tipo di intervento possibile: siti con muri fuori terra privi di tetto, con lacerti di strutture murarie emersi con lo scavo, con resti di occupazione di siti che non hanno tracce costruite hanno ciascuno la propria suggestione (Stanley Price e Jokilehto 2001).

Normalmente in rapporto alla *durata*, si distinguono strutture di protezione provvisorie e definitive, anche se il concetto stesso di “definitivo”, a prescindere dalla durabilità dei materiali e dalla manutenzione, non può essere dato sul sito archeologico, dove, per definizione, l’intervento deve essere reversibile per poter essere aggiornato al sopraggiungere di nuove esigenze o quando nuove soluzioni tecniche o nuove informazioni si rendono disponibili. La distinzione in termini temporali può essere nuovamente trasferita nel dominio del progetto, distinguendo tra strutture che sono il risultato di una procedura emergenziale che fa ricorso a soluzioni prefabbricate (es. tubo giunto) e strutture che sono

frutto di una progettazione, più o meno accurata e comprensiva degli aspetti di cui si è tentato di rendere conto nelle pagine precedenti.

In rapporto all'*estensione*, le coperture parziali si oppongono a quelle unitarie. Ruggieri Tricoli (2007) sottolinea l'opportunità che le coperture siano parziali, per motivi di economicità, sia in senso finanziario, sia in termini di filosofia di intervento poiché consentono strutture più contenute, più facilmente integrabili con l'ambiente e in grado di riconfigurare il rudere. Di converso la copertura parziale può non offrire spazio sufficiente ai visitatore o costringerlo a punti di osservazione innaturali o illogici rispetto all'antico, oppure può indurre ad interpretazioni sbagliate, specie se è stata realizzata solo sulle zone più pregevoli o delicate, provocando una percezione frammentaria e disorganica di quello che in realtà è un complesso unitario; infine potrebbero non essere le più efficaci dal punto di vista ambientale.

La grande copertura gode di diversi vantaggi: offre una visione sintetica dell'interno complesso dello scavo, sempre che l'estensione di quest'ultimo sia tale da consentirne effettivamente l'intera copertura; permette la gestione dei percorsi in modo ottimale rispetto alla conservazione dei resti e alla trasmissione del messaggio culturale; consente di trattare l'allestimento in modo unitario e di eliminare i sostegni intermedi. Di contro, si può ritenere un rischio concreto la perdita di leggibilità delle strutture, che finiscono per diventare l'«arredo di un vasto pavimento» e di aumentare la confusione derivante dalla sovrapposizione di percorsi vecchi e nuovi comportando un problema di comunicazione del sito: si tratta comunque di problemi risolvibili coi mezzi dell'allestimento museografico. Dal punto di vista dell'interazione con l'ambiente, la copertura globale ha sempre un effetto straniante perché separa il contenuto dal contesto, ciò che può essere auspicabile solo in rapporto ad ambienti circostanti degradati o fortemente urbanizzati, ma non in rapporto ad ambienti ancora allo stato naturale; infine soluzioni di questo tipo generano edifici a scala industriale che sono coperchi privo di fondo, dipendenti in massima parte dalla situazione idraulica e geotecnica al contorno del sito. Il maggior impegno strutturale richiede comunque sezioni degli elementi più importanti e maggiori carichi, che si traducono in maggiore impatto visivo e maggiore impronta della fondazione (Marino 2009).

G. Gullini (cit. in Sposito 2016) e Carandini (2010) affrontano il problema dal punto di vista dell'archeologo. Per il primo, che si interessa del solo aspetto della copertura, esistono coperture filologiche sia nella forma che nei materiali; coperture riconfigurative, ma con l'uso di materiali diversi; coperture indifferenti alla preesistenza. Per il secondo è invece più importante l'approccio comunicativo e quindi l'intervento viene classificato in base alla quantità/qualità delle informazioni restituite dal sito e trasmissibili all'osservatore: 1) pannello didascalico su scavo coperto con qualche tettoia e qualche parte visibile in profondità; 2) pannello didascalico e muretti bassi affioranti anche ricostruiti; 3) pannello didascalico e ruderi cospicui con creste consolidate; 4) pannello didascalico, strutture restaurate e coperte da tettoia.

In realtà ogni livello prevede una maggiore integrazione tra sito e copertura e comprende il precedente, arricchendolo. Esistono pertanto 1) la *conservazione*, con semplici interventi di restauro, manutenzione, protezione e rinterro; 2) la *accessibilità* che al livello precedente aggiunge la messa in sicurezza dei manufatti, la creazione di accessi, percorsi e dell'impianto di illuminazione e la programmazione di attività di visita; 3) la *presentazione*, che prevede anche i pannelli didattici e un uso creativo della luce; infine 4) la *musealizzazione*

per effetto della creazione di un vero e proprio museo con attività didattiche e di ricerca, il centro visite e la rievocazione storica, oltre a tutti gli strumenti di comunicazione museale. Infine Di Muzio (2010b) propone una classificazione secondo l'interazione che si stabilisce tra nuovo e antico e all'intensità di questo rapporto:

a) autonomia/dissonanza , articolato in:

- contrasto/opposizione,
- distacco/indifferenza,
- distinzione/dissonanza;

b) assimilazione/consonanza , articolato in:

- mimesi/ripristino,
- analogia/tradizione,
- restituzione tipologica;

c) rapporto dialettico/reintegrazione dell'immagine , articolato in:

- dialettica critico-creativa/reinterpretazione,
- filologia/coestensione,
- reintegrazione dell'immagine/accompagnamento conservativo;

d) non intervento , articolato in:

- conservazione immateriale/presentazione,
- intervento ambientale/sistemazione indiretta.

Queste categorie hanno tuttavia maggior forza nella visione del progettista architettonico, per il quale le funzioni protettiva e conservativa passano in secondo piano rispetto alla visione del rapporto col sito, la topografia, il paesaggio e il significato del sito e del contesto (Roby e Demas 2012).



Figura 4.37: Sistemazione di lacerti archeologici conservati *in situ* all'esterno: a) campiture di ghiaia colorata per evidenziare fasi e ambienti con consolidamento delle creste murarie a raso (da Bonetto et al. 2009); b) copertine di protezione in malta su murature archeologiche in elevato a Ostia (da Pedeli e Pulga 2002)

Riunendo le classificazioni di Minissi (1985), Schmidt (1988), Sposito (2016) con le precedenti si possono individuare le seguenti casistiche:

Coperture di emergenza. Costituite da materiali poveri (tubo giunto, lamiera, onduline e carta catramata) e comprendenti anche le tensostrutture e le serre sono utilizzate in corso di scavo per proteggere materiali particolarmente delicati in attesa del loro consolidamento eventualmente anche solo con cadenza stagionale. Possono essere qui comprese anche piccole tettoie e sporti utilizzati per proteggere elementi lapidei lavorati o isolati pannelli murari affrescati;

Coperture provvisorie. Queste presto o tardi diventano definitive, sui singoli reperti o singoli ambienti di un complesso più ampio, con sostegni, di fortuna o realizzati con pezzi prefabbricati (di solito il tubo giunto) disposti secondo la necessità ma illogici rispetto alla struttura antica; gli alzati in genere sono permeabili e non c'è confinamento laterale. Per Minissi la soluzione è da rigettarsi in quanto equivalente a negare alla preesistenza il valore di immagine e volerla rendere accessibile solo agli specialisti. La categoria corrisponde a quella individuata da Schmidt come dei «baldacchini»;

Coperture parziali ricostruttive. Non è detto che queste rispettino le esigenze museografiche ma seguono le indicazioni provenienti dallo scavo e fanno uso di materiali originali e/o tradizionali o anche moderni ma riproducendo o richiamando le forme antiche; la ricostruzione può riguardare la planimetria o gli alzati. Sono di uso frequente in siti complessi ed estesi, quali le città archeologiche;

Coperture parziali non ricostruttive. Fanno uso di materiali moderni o tradizionali (legno di solito) e pur rispettando le esigenze museografiche e la planimetria ricompongono arbitrariamente gli spazi e gli alzati senza legami con la struttura originaria. Sono tipiche di circostanze intermedie, di siti rinvenuti in contesti urbani esistenti e quindi si pone il problema del rapporto con gli spazi di vita della città di oggi. Secondo Minissi tra queste ricade anche il rinterro ;

Coperture parziali con intenti museografici. Presentano particolari contenuti artistici che soddisfano le esigenze museografiche e sfruttano gli elementi superstiti per riproporre le volumetrie originarie, usando materiali e tecniche reversibili e distinguibili, escludendo invenzioni gratuite o al di fuori delle finalità protettive e museali e infine avendo cura del controllo dell'immagine, parziale e totale. Possono arrivare all'estremo di una completa ricostruzione dell'edificio antico.

Coperture unitarie non ricostruttive. Definite anche «hangar» da Schmidt, coprono interi complessi e sono prive di riferimenti formali alla struttura sottostante poiché hanno caratteri architettonici propri e sono del tutto indifferenti alla preesistenza. Sono utilizzabili su siti puntiformi e isolati da alti ritrovamenti — ville per lo più — di medie dimensioni

Nella classificazione proposta in questa tesi si individuano soluzioni di sistemazione priva di manufatti visibili (livello "0") e situazioni in cui è previsto l'inserimento di oggetti edilizi la cui durata di vita e complessità risultano via via crescenti, dalla costruzioni

temporanee e permanenti, al di sopra o al livello del suolo (livello "1"), fino alla costruzione di veri e propri musei sul sito (livello "2").

Livello 0a: Conservazione all'aperto

In questo caso non sono previsti manufatti di protezione e si rientra nel contesto del parco archeologico (cfr. 1) o del giardino con vestigia archeologiche. La fruizione è principalmente visiva e richiede diverse tecniche e strategie per poter presentare i siti al pubblico e garantirne l'accessibilità. In particolare in area urbana vanno evitati i siti perimetrati, cintati e fruibili solo dall'alto che creano isole (meglio: relitti) che non partecipano della vita circostante. Vaudetti et al. (2013) sottolineano come il giardino archeologico sia oggi meno in voga rispetto agli anni Ottanta, parte per il superamento per il gusto rovinistico, parte per la necessità di usare tali aree in modo più remunerativo.

Nella conservazione all'aperto una tecnica a bassi costi e impatto che consente un'immediata leggibilità del rudere è la pratica del *lining out*, nata in Inghilterra, consistente nel trattare le superfici archeologiche con ghiaie colorate, inerbimento e leggeri pareggiamenti delle murature in modo da delineare chiaramente la pianta e le funzioni (siti di Nora in Sardegna e della *domus* di Pla del Palol a Platja d'Aro; Fig. 4.37a). Il delinamento può avvenire anche in tre dimensioni, suggerendo la volumetria di parti dell'architettura scomparsa con esili strutture metalliche a fil di ferro: sistema di origine americana, inventato per la Franklin House di Philadelphia, è stato usato con successo al tempio di Apollo di Veio (Fig.4.38), alla *Crypta Balbi*, nella chiesa di S. Lorenzo a Siponto presso Manfredonia o nella porta del *castrum* di Vindonissa-Windisch in Austria.

Un'altra soluzione sono i rifacimenti delle creste o la realizzazione di copertine, per le quali si deve avere cura di usare materiali (malte e pietre) compatibili, che non apportino sali e soprattutto abbiano una deformabilità simile a quella della muratura sottostante, altrimenti si fessurano lasciando percolare la pioggia; l'effetto estetico finale non può essere ignorato, soprattutto se il sito è visibile dall'alto, né può essere trascurato il fatto che si tratta un'alterazione della stratigrafia interna dei muri (al pari della ristilatura) (Pedeli e Pulga 2002) (Fig.4.37b).

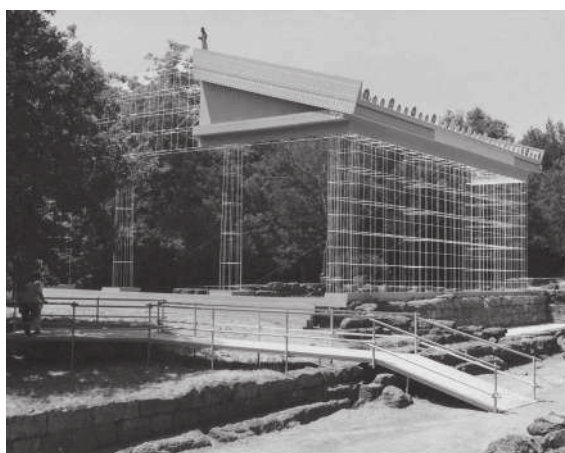


Figura 4.38: Ricostruzione evocativa di F. Ceschi del tempio di Apollo a Veio (da [5])

Livello 0b: Ricoprimento e rinterro

Tra le coperture temporanee può essere annoverata anche la pratica di coprire temporaneamente le pavimentazioni con telo di plastica o, meglio, di geotessile, coperto con sabbia, argilla espansa, perlite o lapillo. La pratica risulta efficace solo se vengono alternati periodi di ricoprimento con altri, in genere in primavera, di scoprimento per far asciugare l'umidità accumulata ed eliminare l'eventuale vegetazione attecchita (Marino 2009) (Fig.4.39; 4.40).

Il ricoprimento può anche interessare l'intero sito (rinterro), in questo caso esso va fatto con materiale opportuno, chimicamente compatibile, privo di sali e non igroscopico, compatto ma non troppo pesante o tagliente per non danneggiare i resti, in grado di impedire la crescita di flora e fauna e predisponendo l'adeguata raccolta e smaltimento dell'acqua lungo i bordi del sito in modo tale che non ci siano infiltrazioni e ristagni (Theodorakes e Kouli 2010); per lo stesso motivo il materiale dovrebbe poter consentire la diffusione del vapore e avere una porosità simile a quella dei materiali archeologici. Le operazioni devono inoltre essere eseguite da personale adeguatamente preparato. Una soluzione di solito citata consiste in materassi di tessuto-non-tessuto (TNT) riempiti con argilla espansa, terreno o polistirolo (Pedeli e Pulga 2002). In realtà, anche se lo studio è più datato, Petriaggi (1996) ottiene migliori risultati da un ricoprimento con solo materiale inerte (argilla espansa) perché il telo di TNT trattenendo l'umidità funzionava da substrato di coltura delle piante attraendo la crescita delle radici.

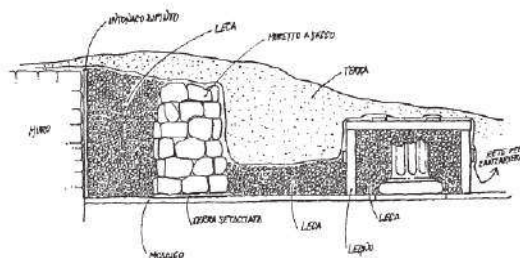


Figura 4.39: Predisposizione del rinterro secondo Carandini 2010



Figura 4.40: Predisposizione del rinterro secondo Laurenti 2006

Il rinterro non è in grado di assicurare l'arresto dei processi di degrado dei materiali e di dissesto delle strutture, anzi, a volte innesca processi degenerativi più gravi perché non direttamente controllabili (Marino 1989). Val la pena di ricordare che proprio il

risepellimento è ritenuto, dai conservatori più accesi, la soluzione più vicina all'ideale, che consente di non vedere resti scavati e abbandonati, soprattutto laddove non esistono i presupposti materiali e sociali per una corretta conservazione o il sito stesso non abbia contenuti archeologici o immaginativi sufficienti, e la più conservativa per i materiali archeologici (Stubbs 1995). Tuttavia altri esprime dubbi a tale riguardo e anche i casi esposti in Roby e Demas 2012 non sembrano aver riscosso molto successo⁵. La fruizione può avvenire solo sollecitando in modo intelligente l'immaginazione del fruitore. Nel caso di rinterramenti definitivi il materiale di riempimento deve essere a maggior ragione stabile e non comprimibile e soprattutto non essere eseguito con la stessa terra dello scavo per non generare un inestricabile "puzzle stratigrafico" (Pedeli e Pulga 2002).

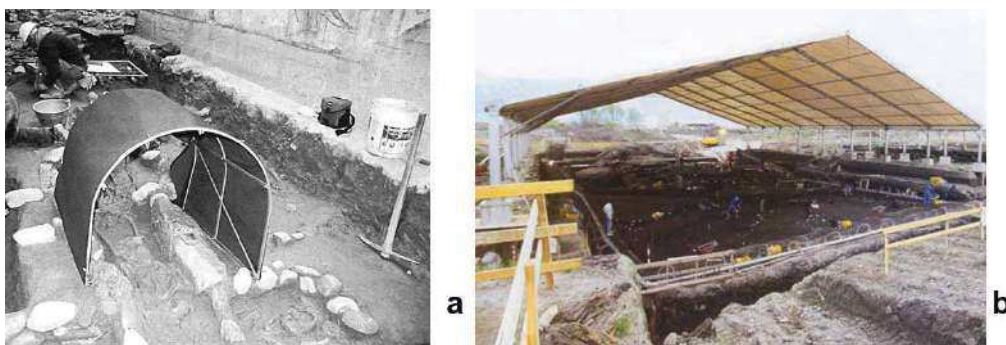


Figura 4.41: Coperture provvisorie: a) di singoli oggetti in corso di scavo (da Pedeli e Pulga 2002); b) dell'intero scavo (Longola, NA) (da [44])

Livello 1a: Coperture temporanee e/o di singoli elementi

In questo caso si tratta di strutture, spesso provvisorie, funzionali a coprire uno o più tratti di muratura o a proteggere — cioè proteggere fisicamente, non innescare fenomeni climatici di degrado, non interagire fisicamente e chimicamente coi reperti — i materiali in corso di scavo o consolidamento offrendo anche la possibilità di suggerire i volumi e gli andamenti planimetrici e non ostacolare l'attività di scavo e documentazione (Fig.4.41). Il termine utilizzato per individuarli in inglese è *shelter*, cioè riparo o rifugio (Aslan 2001) significando anche che il loro contributo positivo è più psicologico che fisicamente misurabile. A complessità crescente si trovano soluzioni con (Pedeli e Pulga 2002):

Teli. Impermeabili o traspiranti in polietilene, tessuti non tessuti di varia grammatura, geotessili) che non devono venire in contatto coi materiali, essere adeguatamente fissati e messi in tensione, di piccola dimensione (max 3x3m) da rimuovere periodicamente;

Protezioni localizzate. Contenitori e "serrette" che possono essere utilizzate nel corso dello scavo o durante la brutta stagione. Si richiede che siano leggere, modulari, rimovibili, apribili, ben ventilate, impermeabili, ancorabili in modo facile e leggero al suolo, resistenti a sollecitazioni meccaniche anche notevoli (vento, neve) all'esposizione prolungata ai raggi solari;

⁵Cfr. alcuni interventi in Michaelides (2003).

Coperture temporanee. tipicamente realizzate in tubi innocenti e manto in onduline o lamiera grecata in realtà consentono solo di avere un riparo temporaneo dagli agenti meteorici diretti, senza altri benefici dal punto di vista conservativo, ma hanno il principale svantaggio di richiedere molti punti d'appoggio (ingombro fisico e visuale dell'area di cantiere), di avere notevoli costi di montaggio e anche di manutenzione (revisione periodica dei giunti), anche se questo è un problema che si ha solo quando rimangono in opera a lungo, situazione per la quale è meglio ricorrere ad una progettazione ad hoc; per estensioni medio-grandi (dai 25 ai 100 m^2) è più opportuno ricorrere a tendostrutture e tensostrutture di fabbricazione industriale o progettate ad hoc.

Livello 1b: Copertura definitiva

Quando si arriva a questo livello, il progettista architettonico e strutturale svolge un ruolo essenziale al fine non solo della visualizzazione della forma ma anche del coordinamento delle diverse istanze provenienti dalle figure coinvolte nel processo di scavo e valorizzazione.

La copertura può presentarsi estesa all'intera superficie (copertura totale) del sito oppure essere frammentata sui singoli ritrovamenti (copertura parziale); in ciascuna delle due soluzioni può essere previsto o meno il confinamento determinato dalla presenza di schermature o pannelli verticali laterali. Il contenuto tecnologico e impiantistico può essere minimo e ridotto alla sola struttura verticale orizzontale o essere più articolato e poter supportare anche una presentazione di tipo museale.

La scelta tra l'una o l'altra soluzione dipende da numerosi fattori, descritti in seguito nel capitolo, ma in letteratura si percepisce una preferenza per la copertura di tipo parziale poiché permette di riconfigurare e suggerire le volumetrie e i rapporti spaziali degli antichi edifici, ciò che non è sicuramente possibile con una copertura unitaria dove, oltre all'ingombro nel paesaggio, i lacerti rischiano di apparire come un "tappeto" difficilmente leggibile (Fig.4.42). La scelta dei materiali, innovativi moderni o tradizionali, e della forme, moderne o vernacolari, diventa sostanziale nella capacità riconfigurativa e associativa dell'architettura moderna rispetto a quella antica (Laurenti 2006; Ruggieri Tricoli 2007).

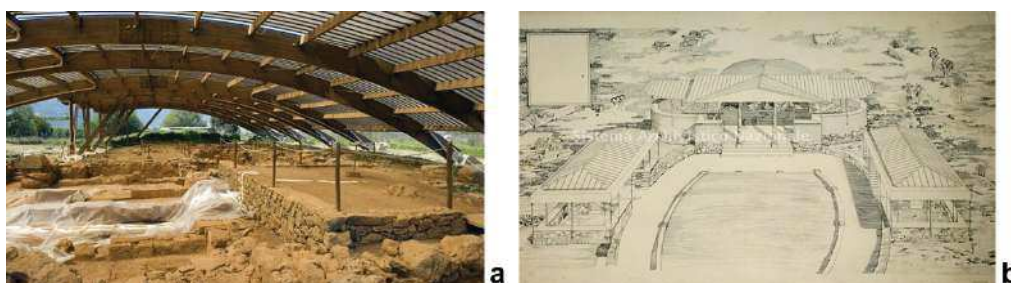


Figura 4.42: Tensostrutture con diversi gradi progettazione: a) copertura totale a Mallia, Creta (da [45]); b) coperture parziali riconfigurative nel progetto di Minissi per la villa di Piazza Armerina (EN) (da [46])

Livello 1c: Coperture definitive con ripristino del profilo del terreno

Se il sito si trova molto al di sotto del piano campagna, può essere realizzata una copertura che per forma, altezza e finitura della superficie superiore ripristini l'immagine del terreno asportato con lo scavo (Fig. 4.43). La scelta può essere praticata tanto in area rurale, dove l'obiettivo è quello di limitare l'intrusione della nuova struttura nel paesaggio, sia nel centro urbano, dove al contrario serve a garantire la percorribilità dello spazio soprastante e ricavare lo spazio museale al di sotto del piano carrabile attuale o di un edificio più recente. I risultati sono in genere buoni e ci sono molti esempi ben riusciti, ma il problema più evidente di questi siti è la necessità di una dotazione impiantistica "importante" per poter assicurare un microclima di conservazione adeguato. In ogni caso, è difficile rendere il sito effettivamente partecipe della vita urbana soprastante e le soluzioni adottate per segnalare il sito ipogeo, come vetrate calpestabili e chioschi trasparenti, rischiano di essere ingombranti o controproducenti una volta appannate o in condizioni di luce tali da riflettere l'esterno invece di far vedere l'interno (Pedelì e Pulga 2002; Ruggieri Tricoli 2007).

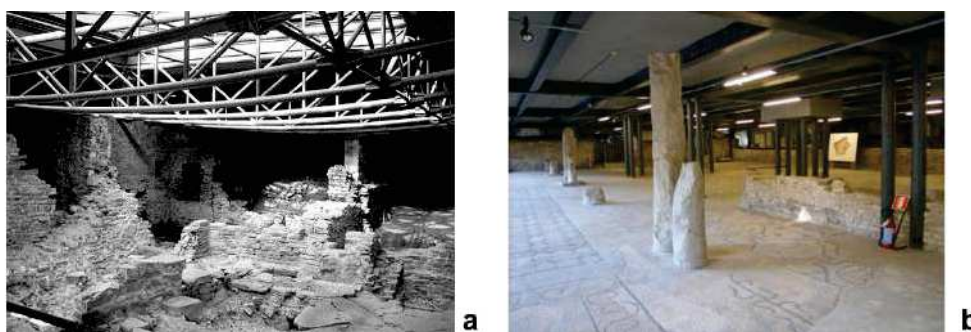


Figura 4.43: Sistemazione di siti in ipogeo: a) area archeologica della biblioteca civica a Bergamo (da Morandini e Rossi 2005); b) area archeologica sotto la cattedrale di Concordia Sagittaria (VE) (da [47])

Livello 2: Coperture museali

Si tratta di edifici del tipo museo-contenitore con maggiore importanza data all'involucro protettivo sia opaco che trasparente. Dovrebbe essere la soluzione più efficace da un punto di vista conservativo; in inglese prendono il nome di *enclosures* (Aslan 2001) e permettono un migliore controllo del clima interno, oltre ad offrire la possibilità di suggerire l'aspetto dell'edificio antico. Tende tuttavia a prevalere la forma semplice e unitaria che si estende su tutto il sito più che muoversi su ipotesi riconfigurative che cercano di riproporre le volumetrie originali (Fig. 4.44). Il rischio è dunque di creare qualcosa di estraneo perché un "di più" rispetto ad un contesto formale già risolto (Vaudetti et al. 2013). L'idea, specie in contesto urbano, di ricorrere ad ampie superfici vetrate per poter garantire la permeabilità allo sguardo spesso è inadeguata perché il vetro è più riflettente che trasparente, specie di giorno; di notte invece l'effetto suggestivo è molto più facilmente raggiunto. Tra le strutture chiuse riscuote un grande successo tra i commentatori l'uso del legno nelle forme di rivestimento continuo o di lamelle poiché la patina che progressivamente assume il

materiale esposto permette di raggiungere una consonanza visiva, accompagnata dalla capacità di fare da filtro tra ambiente esterno ed interno.

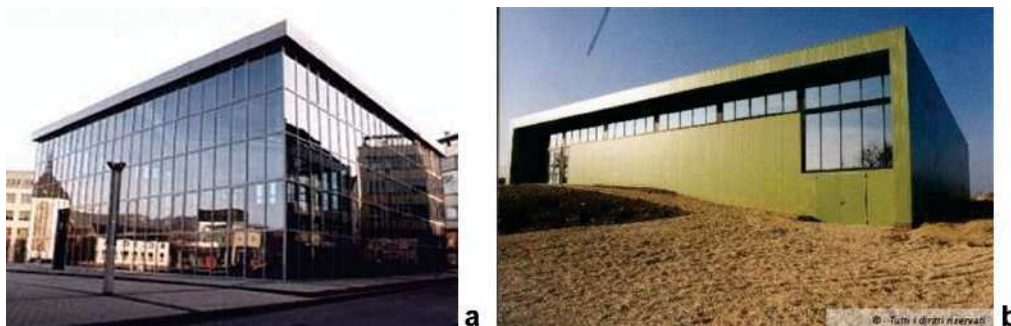


Figura 4.44: Effetto esterno di alcuni contenitori archeologici; a) il museo delle terme di Treviri (da [32]); b) il sito paleontologico della Polledrara di Cecanibbio presso Roma (da [47])

Quando si ha a che fare con coperture di questo tipo il rischio è sempre quello di un esito figurativo magari piacevole all'interno ma all'esterno assimilabile ad una vera e propria "scatola" che estrania il sito dal contesto circostante. È il caso di alcune situazioni spagnole (cfr. *supra*) o, in Italia, della Polledrara di Cecanibbio. Esempi di solito citati come virtuosi sono i già ricordati musei di Vesunna a Perigueux e della *domus* dell'Ortaglia a Brescia (Fig. 4.31).

4.3.2 Soluzioni architettoniche per le coperture archeologiche

Le coperture archeologiche definitive possono essere ulteriormente distinte in base alla forma architettonica e strutturale utilizzata per realizzarla: a) grandi strutture; b) padiglioni isolati; c) strutture prefabbricate; d) tensostrutture e e) strutture a guscio reticolare o *gridshell* (Fig. 4.45). Le prime tre rientrano nel novero delle soluzioni costruttive di tipo tradizionale (legno, acciaio, calcestruzzo) le ultime due possono invece presentare certi margini di innovazione. La distinzione è utile soprattutto ai fini della valutazione della loro efficacia.

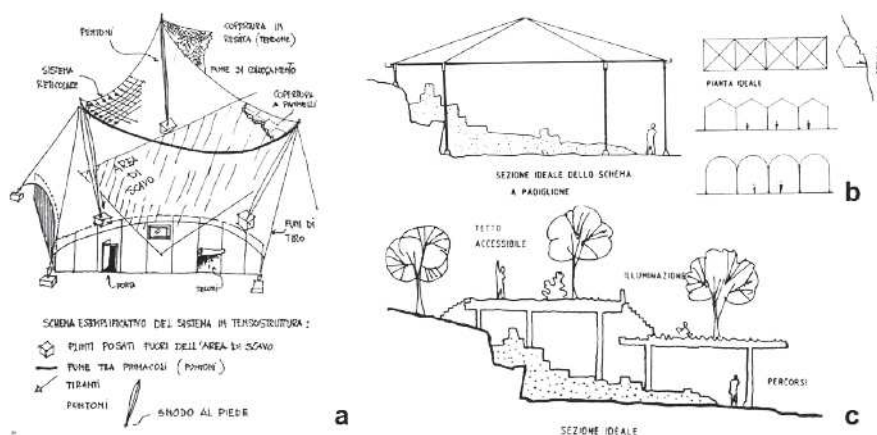


Figura 4.45: Tipi architettonici degli interventi di copertura (da Amendola 1988)

Grandi strutture di tipo tradizionale

Si tratta di coperture di grande luce che coprono l'intero sito senza appoggi intermedi poiché le fondazioni sono impostate lungo i bordi dello stesso dove il terreno non ha rilevanza archeologica. In Italia, negli anni Ottanta e Novanta la soluzione prevalente è la struttura reticolare spaziale piana lasciata internamente a vista, più raramente il cemento armato. Negli ultimi anni queste sono state abbandonate a favore delle strutture in legno lamellare con andamento in genere arcuato.

Il confinamento laterale può essere presente oppure no a seconda della scelta architettonica, tuttavia nella maggior parte dei casi è assente (Fig. 4.46). Se è presente è preferibile la soluzione completamente opaca o traslucida per poter limitare il guadagno solare (Fig. 4.47).

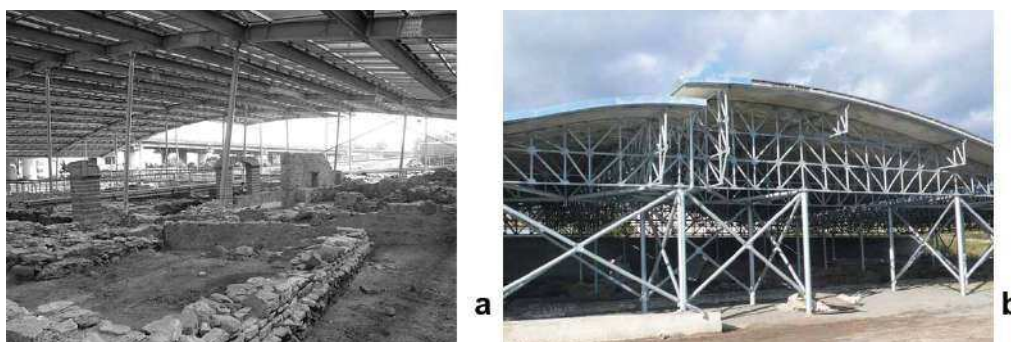


Figura 4.46: Coperture totali, definitive, aperte sui lati: a) Villa romana di Patti Marina (da [5]); b) villa romana di Casignana (da Laurenti 2006)

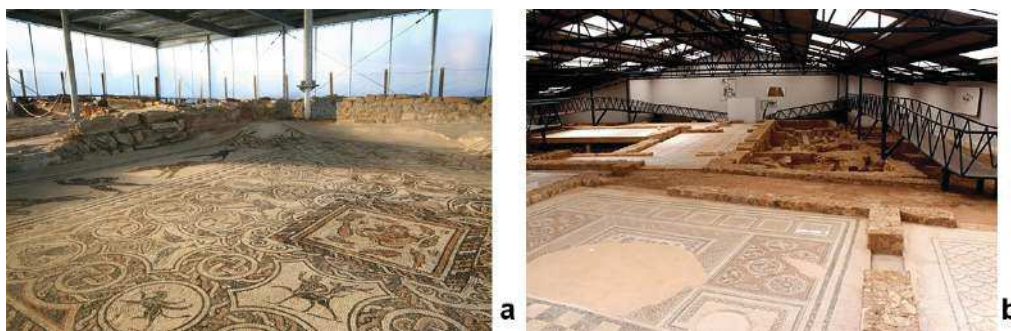


Figura 4.47: Coperture totali, definitive, chiuse sui lati: a) *domus* romana di Sant'Angelo in Vado (da [48]); b) villa romana di La Olmeda (da [28])

Padiglioni

I padiglioni singoli consentono, rispetto alla copertura unitaria, di ripristinare in modo più accurato le volumetrie e i rapporti tra edifici che potevano esistere in origine. La loro efficacia conservativa tuttavia dipende in modo più evidente dalla presenza o meno dei rivestimenti laterali a causa della loro minore superficie. Le soluzioni formali e strutturali sono numerosissime, tuttavia sono rari i casi in cui la struttura offre poco più che un riparo diretto dalle precipitazioni in maniera adeguata a causa di un'altezza eccessiva della

struttura, dell'assenza di pannelli laterali e dell'insufficienza dello sporto di copertura. Anche l'effettiva capacità riconfigurativa è inficiata dall'adozione di forme libere, curve o poligonali, di cui è più responsabile il gusto del progettista che un vero studio filologico. Soluzioni frequenti sono le strutture intelaiate in legno o acciaio con appoggio in genere esterno o in asse alle murature archeologiche; esistono anche situazioni di appoggi interni, mediante pali o plinti isolati interrati, laddove non vi siano pavimentazioni o ricorrendo a plinti in appoggio su pavimenti esistenti. I sostegni verticali sono in genere elementi semplici, quali profilati metallici a sezione aperta o chiusa o profili quadri in legno, qualche volta si fa uso di aste tralicciate di tipo leggero. La copertura è tipicamente inclinata, a volte con pendenza minima, a una o più falde o di forma curva; può essere sorretta da capriate tradizionali in legno, capriate reticolari metalliche o essere sorretta da un telaio sagomato (Fig. 4.48).

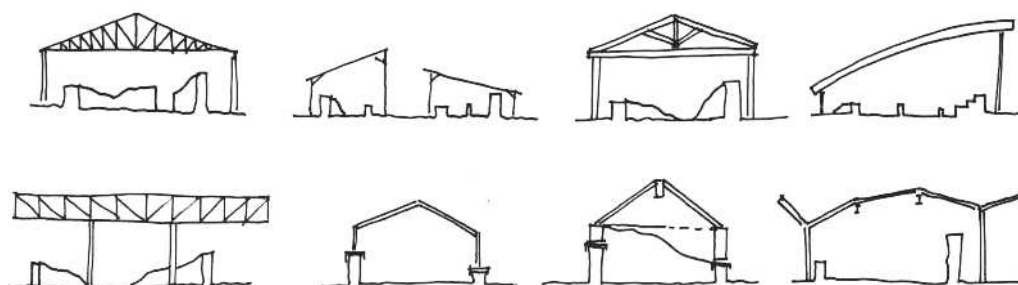


Figura 4.48: Tipi di coperture archeologiche a padiglione in rapporto alla scelta strutturale e formale

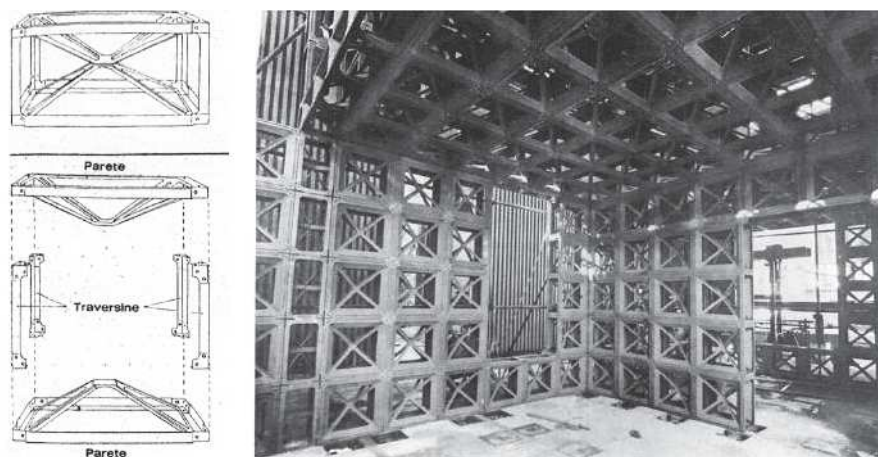


Figura 4.49: Dettaglio costruttivo e struttura assemblata utilizzando il mattone d'acciaio (da Gianattanasio et al. 1988)

Strutture prefabbricate

I materiali di produzione industriale più usati sul sito archeologico sono i tubi Innocenti per la formazione di ponteggi. Essi si prestano per la rapida realizzazione di strutture

leggere che, come già si è avuto modo di dire, riscuotono una certa approvazione per via del richiamo al cantiere edile e quindi a qualcosa in divenire; il loro uso è di solito orientato alla realizzazione di protezioni temporanee in corso di scavo. D'altra parte richiedono una progettazione adeguata e la loro permanenza in opera per lunghi periodi non è mai consigliata. Di solito vengono preferiti i tubi semplici, rispetto ai telai ad H impiegati nella formazione di impalcature.

Una soluzione notevole nel panorama delle possibilità di intervento sulle costruzioni esistenti è il mattone d'acciaio (Fig. 4.49). Proposto per la prima volta in un concorso internazionale bandito dall'allora CEE nel 1966 per industrializzare l'edilizia intermedia, viene perfezionato negli anni Ottanta per trovare anche applicazione in alcuni interventi di recupero di edifici storici e di nuova costruzione in particolare nel Meridione. I promotori del sistema sono M. Pagano con la collaborazione fra gli altri di F. M. Mazzolani e N. Palumbo. Il "mattone" è formato da subcomponenti in lamiera zincata stampata a freddo e collegati con chiodi avio presolleccitati. Il mattone vuol essere un elemento modulare anonimo, non rigidamente pre-progettato, per adeguarsi alle esigenze funzionali delle diverse tipologie edilizie. In altri termini si evitano elementi complessi ad alto contenuto di pre-progettazione — come i profilati —. Il materiale acciaio permette il rispetto dei requisiti principali delle strutture prefabbricate (cfr. Cap. 5), garantisce l'isoresistenza a trazione e compressione, permette di ingrandire ed alleggerire il modulo del mattone in laterizio, ha buona risposta strutturale a taglio e flessione, consente il passaggio di impianti al suo interno (Gianattanasio et al. 1988).

Il mattone d'acciaio può essere usato nella formazione delle strutture verticali ed orizzontali così da usare in modo estensivo lo stesso elemento poiché non ha una funzione statica predeterminata. Il fatto poi di essere un elemento rigorosamente modulare permette il completamento dell'edificio con elementi standard.

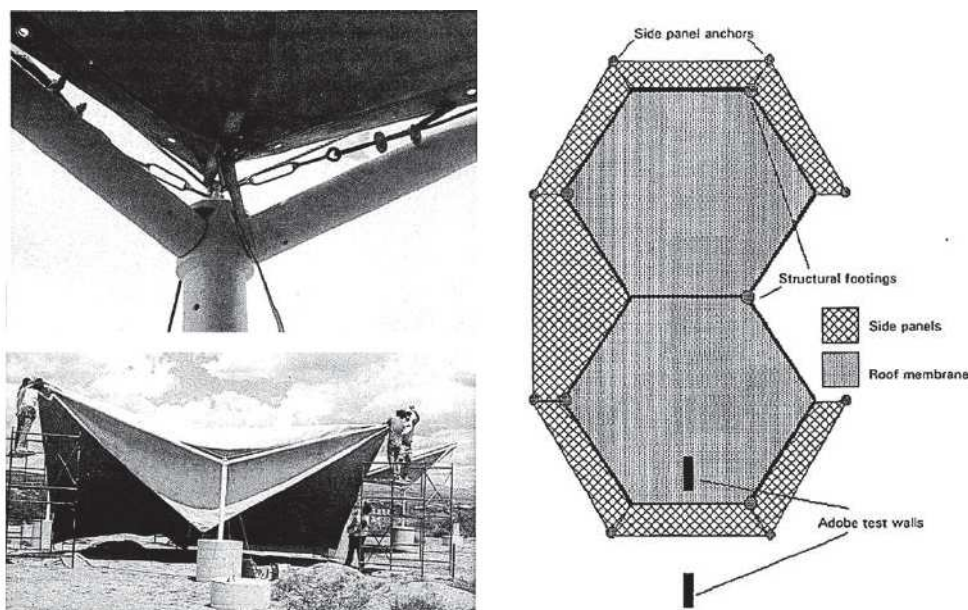


Figura 4.50: Tipi architettonici degli interventi di copertura (da Agnew et al. 1996)

Tensostrutture

Le tensostrutture sembrano essere una buona soluzione per combinare leggerezza strutturale, flessibilità, conformazione libera e naturale, installazione e smontaggio rapidi, trasportabilità (Zanelli et al. 2013). Ciò le rende utilizzabili anche per strutture provvisorie o stagionali pur richiedendo una certa manutenzione per poter assicurare il tensionamento adeguato di cavi e membrane; esempi di questo tipo sono le coperture usate sui siti di Bibracte in Francia (Fig. 4.29), Gela in Italia (Fig. 4.2), Vassos e Kalavassos-Tenta in Grecia, Russi ancora in Italia, l'*hexashelter* usato a Cipro per qualche tempo (Fig. 4.50). I problemi maggiori di questa soluzione sono dovuti all'elevato impatto delle fondazioni, alla difficoltà di assicurare la corretta gestione dello scolo dell'acqua piovana, alla vulnerabilità al fuoco e agli eventi atmosferici eccezionali; può essere giudicato un aspetto critico anche l'impossibilità di stabilire un diretto rapporto formale tra la copertura e il rudere sottostante, come nel caso del tempio di Apollo a Vassos, anche se qui si è esplicitamente scelto di dare prevalenza all'istanza conservativa. Zanelli et al. (2013) hanno recentemente proposto una struttura in cui gli elementi portanti resistenti anche a compressione sono realizzati in profili pultrusi per aumentare ulteriormente la leggerezza del sistema. In questo progetto la membrana è realizzata in doppio strato, mediante un telo in PVC rinforzato con fibre di vetro, che dà il manto impermeabile e la protezione dai raggi UV, e una rete protetta in PVC che serve ad ombreggiare lo strato continuo sottostante contribuendo a diminuire la temperatura.

La funzionalità del sistema è di solito controbilanciata da un impatto visivo anche notevole sul sito e dalla chiara modernità della soluzione di copertura; a questa va aggiunta la necessità di provvedere alla periodica pulizia dei teli per evitare lo spiacevole conseguente senso di "trascuratezza" (Fig. 4.51).



Figura 4.51: Vista dell'interno della copertura del tempio di Apollo a Bassae in Grecia (da [49])

Strutture a guscio reticolare

Crescente interesse si registra anche per le strutture resistenti per forma a grigliato piano (*gridshell*) caratterizzate da una notevole leggerezza, dalla libertà formale unitamente ad una discreta capacità portante. La messa in opera avviene in genere disponendo sul terreno una griglia a maglia quadrangolare che consenta ampie deformazioni verticali, provvedendo poi una volta in posizione a collocare un'ulteriore orditura di correnti così da formare una maglia triangolare fissa. Una recente applicazione di una struttura temporanea di questo tipo realizzata per di più in profilati tondi in GFRP è stata proposta da Du Peloux et al. (2016).

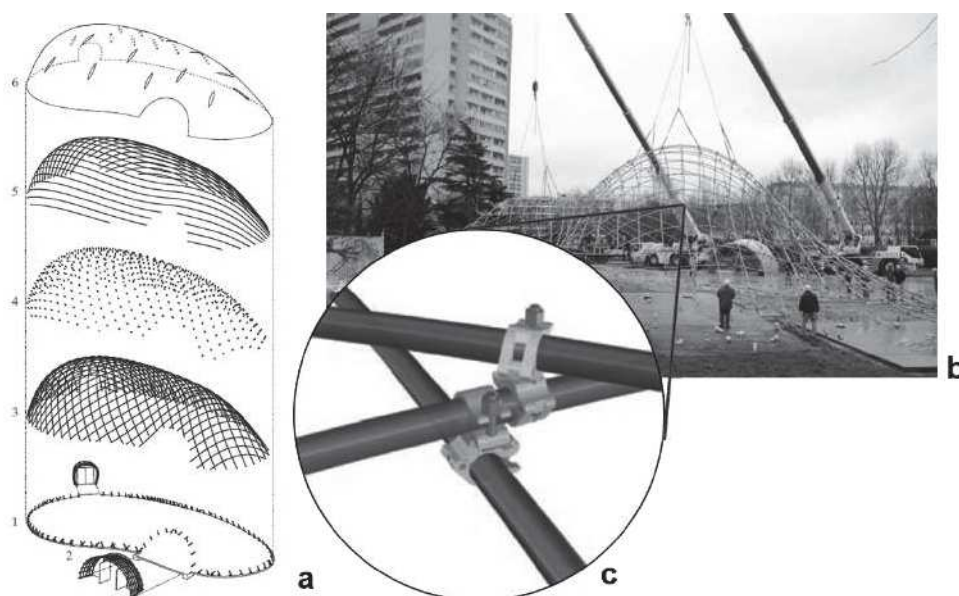


Figura 4.52: Struttura temporanea tipo gridshell in tubolari pultrusi (elaborazione da Du Peloux et al. 2016)

4.4 Valutazione dell'efficacia

Non è scontato che l'effetto della copertura sia positivo, se si esclude la sensazione benefica di "vedere un tetto" al di sopra di quelli che ci appaiono, e spesso sono, fragili resti (Aslan 2001). Al contrario, essa può comportare problemi altrimenti imprevedibili ai materiali conservati sia nel corso della sua realizzazione, sia per effetto di un invecchiamento precoce da essa indotto e dovuto alla carenza o all'assenza di manutenzione specie se non previsti dal progetto iniziale (Aslan et al. 2018; Michaelides 2003; Roby e Demas 2012)).

Ciononostante si riscontra la mancanza di studi dedicati a collegare i meccanismi di degrado, i risultati del monitoraggio ambientale e il progetto di una copertura così da soddisfare i requisiti di tale analisi. Pertanto a dispetto di criteri generali di progetto a livello ambientale ben noti e relativamente semplici, difficilmente essi sono di ispirazione per il progetto. Al contrario, la valorizzazione dell'esperienza del visitatore sembra essere più gestibile nei termini progettuali correnti di una progettazione basata su simulazioni ambientali e oggettive valutazioni dell'efficacia, oltre a ricevere un più immediato riscontro per quan-

to riguarda l'afflusso di pubblico e il rientro economico dell'intervento (Roby e Demas 2012). Il raggiungimento del comfort climatico per i materiali oggetto di conservazione tuttavia non rappresenta l'unico metro per la valutazione dell'efficacia, ma vanno anche considerate le strategie gestionali intraprese o che si prevedono necessarie in rapporto all'intervento, a livello di manutenzione, impegno economico, personale disponibile ecc. (De La Torre 1997; Palumbo e Teutonico 2000).

Studi sistematici su questo aspetto della conservazione dei siti archeologici sembrano ancora mancare: esistono studi dedicati alla conservazione dei singoli manufatti (es. Huisman 2009) ma non sulla valutazione globale del sistema costituito da sito archeologico e copertura. I lavori di Aslan et al. (2018) e Cecchi e Gasparoli (2010, 2011), relativi allo specifico ambito dei beni archeologici edificati — quelli caratteristici di Roma o dei siti archeologici vesuviani — non hanno trovato un'estensione nel più vasto contesto del rudere archeologico con minor grado di completezza.

4.4.1 Procedure esistenti

Aslan (2001) criticando la pratica della costruzione indiscriminata di *shelters* individua come particolarmente critici i seguenti problemi: le infiltrazioni d'acqua, il crollo di strutture non progettate o non mantenute, l'intrusività nel paesaggio archeologico, la totale o parziale inefficacia nell'inibire i fenomeni di degrado (cicli termici e di umidità), la creazione non preventivata di condizioni climatiche sfavorevoli alla conservazione. Rispetto alle *enclosures*, cioè alle strutture completamente chiuse, individua invece: la mancanza di evidente distinguibilità dalle strutture originarie, i problemi di risalita dell'umidità, il controllo ambientale invariabilmente richiesto (sono edifici privi di fondo), il surriscaldamento per effetto serra (troppi vetri), il deposito di sali solubili.

Bikai e Bikai (1997) propongono alcuni seguenti criteri per la valutazione dell'efficacia, in rapporto sia ai canoni del restauro, sia agli aspetti pratici della conservazione e della gestione. La copertura viene dunque valutata in rapporto a: protezione offerta dagli elementi; impatto dell'intervento; evidente alterità rispetto all'antico; reversibilità senza danno per il sito; costo; complessità di installazione; garanzia di illuminazione e ventilazione naturali; flessibilità ed espandibilità; sicurezza rispetto dall'intrusione; sicurezza offerta alla fruizione; grado di controllo ambientale. Essi inoltre notano come il costo sia un indice rappresentativo della reversibilità, perché oltre un certo costo si è meno propensi alla rimozione, anche se è evidente la dannosità della soluzione.

Laurenti (2006) valuta l'efficacia della copertura secondo la sua efficienza costruttiva indipendentemente dal rapporto con il bene archeologico che deve proteggere e secondo l'adeguatezza rispetto a tale rapporto. Nel primo caso si fa riferimento agli elementi costituenti la copertura (pendenza, tipo di struttura portante, manto di coperta e strato di tenuta all'acqua, impianti quali smaltimento dell'acqua piovana e parafulmine, ispezionabilità e manutenzione); nel secondo all'impatto che questi possono avere sul sito archeologico (sparto laterale, altezza, trasparenza tipo di appoggio al suolo o sulle strutture, tipo di fondazioni, grado di confinamento, integrazione con impianti di illuminazione e controllo climatico, manutenzione).

Più di recente diversi contributi raccolti da Aslan et al. (2018) hanno ricondotto il tema

dell'efficacia della copertura nel quadro della più ampia procedura di gestione e manutenzione del sito (cfr. *infra*).

Entrando nello specifico dei parametri utilizzabili per una valutazione propriamente detta, si può fare riferimento, per gli aspetti climatici e ambientali, ai criteri normalmente indicati per la conservazione in sito dei mosaici o di rinvenimenti archeologici particolarmente fragili quali le strutture in terra cruda. Si rimanda pertanto ai lavori di Alef (2002), Ertosun (2012) e Michaelides e Guimier-Sorbets (2017) per l'approfondimento su quanto verrà di seguito presentato in sintesi.

Marino (2009) ha cercato di costruire il quadro generale del problema, osservando gli effetti dannosi sul sito archeologico indotti dalle più varie circostanze, tra cui le coperture. Tali effetti, meglio definibili come *patologie*, sinteticamente presentati in Tab. 4.1, possono essere, a ritroso, ricondotti a parametri per la valutazione dell'efficacia.

Tabella 4.1: Problemi generati da o di cui è passibile la copertura in rapporto al tipo (elaborazione da Marino 2009)

	modulari prefabbricate	parziali	globali
Impatto delle fondazioni			X
Vincoli nella definizione delle falde	X		
Presenza di appoggi intermedi	X	X	
Prevalenza all'istanza fruitiva			X
Necessità di climatizzazione			X
Difficoltà di ampliamento	X		X
Danni da azioni ambientali	X	X	
Discomfort visivo	X	X	X
Discomfort ambientale	X	X	
Discomfort illuminotecnico	X	X	
Infiltrazioni d'acqua	X	X	
Pendenza inadeguata delle falde	X	X	
Dispersione acqua piovana	X	X	X
Straniamento			X
Accentuazione cicli termoigrometrici	X	X	X

L'importanza del controllo climatico ai fini della valutazione dell'efficacia conservativa risiede nella concentrazione dei valori e dei significati sulla superficie degli oggetti costituenti i beni culturali. I cicli termici brevi — gelo disgelo o semplicemente esposizione diretta o meno al sole nel corso della giornata — giornalieri o locali più che quelli mensili o stagionali apportano il massimo danno ai materiali perché non riescono a penetrare nella massa dell'oggetto e si limitano ad interessare appunto la superficie. I fenomeni di interesse sono le dilatazioni termiche anisotrope, le variazioni di umidità e contenuto d'acqua dell'aria, la condensazione sulle superfici, i movimenti di aria con deposito di particelle, lo stimolo dell'attività metabolica di microrganismi (Camuffo 2014).

Studi approfonditi, strumentali, sul microclima interno e i fenomeni di degrado delle superfici sono stati condotti tuttavia prevalentemente sugli edifici storici (Bernardi 2008; Camuffo 2014) e solo limitatamente su siti archeologici protetti da coperture (Laurenti 2006).

Cabello-Briones e Viles (2017) ha testato l'efficacia protettiva di due tensostrutture di protezione archeologica aperte in Inghilterra e a Malta osservando come essa sia dipendente dal tipo di clima del luogo. In particolare nel clima freddo la copertura è in grado di ridurre i giorni di gelo e l'umidità relativa consentendo anche di avere una temperatura più alta al di sotto; nel clima caldo invece per quanto la copertura abbia un riscontro positivo sul soleggiamento e sul conseguente riscaldamento diretto delle superfici, si registra un numero più elevato di giorni in cui si ha il superamento della soglia di cristallizzazione del sale (NaCl) rispetto ai campioni scoperti. Un lavoro sostanzialmente completo di monitoraggio ambientale, a riprova della complessità di questi studi, e delle condizioni di conservazione di alcuni campioni di materiali rinvenibili sul sito archeologico è esposto in (Laurenti 2006) per alcuni siti pilota italiani in differenti condizioni geografiche e climatiche.

In generale si deve tenere in conto che la copertura intercetta l'acqua di pioggia e quindi questa deve essere correttamente raccolta e smaltita, non semplicemente dispersa sul terreno nelle vicinanze del sito. La copertura inoltre aumenta la temperatura interna, riducendo l'umidità relativa e richiamando pertanto acqua nelle murature per capillarità dal terreno; la quantità di acqua varia ciclicamente con le variazioni stagionali del livello di falda (Aslan et al. 2018; Michaelides e Guimier-Sorbets 2017).

Oltre alla **qualità conservativa**, che è l'effetto della copertura sulle condizioni di conservazione, possono essere presi in considerazione l'**impatto ambientale**, cioè l'effetto della copertura nel rapporto col paesaggio; infine l'**impatto archeologico**, ossia il rapporto tra sistema strutturale e il rudere (Sposito 2004). A questi, in rapporto alle preoccupazioni espresse dagli studiosi anglosassoni (es. Avrami et al. 2010; Palumbo e Teutonico 2000) si può aggiungere l'**impatto sociale**, quali le ricadute della copertura e del sito sulla popolazione che ne viene a contatto e la partecipazione del sito alla vita della comunità, e l'**impatto gestionale**, vale a dire gli oneri per la manutenzione e la gestione nel corso del tempo. In ultima analisi anche la **qualità comunicativa** (semplicità di fruizione) rappresenta un parametro di valutazione importante, valido sia per la copertura sia per il sito nel suo complesso, anche se in senso lato può rientrare nell'impatto sociale.

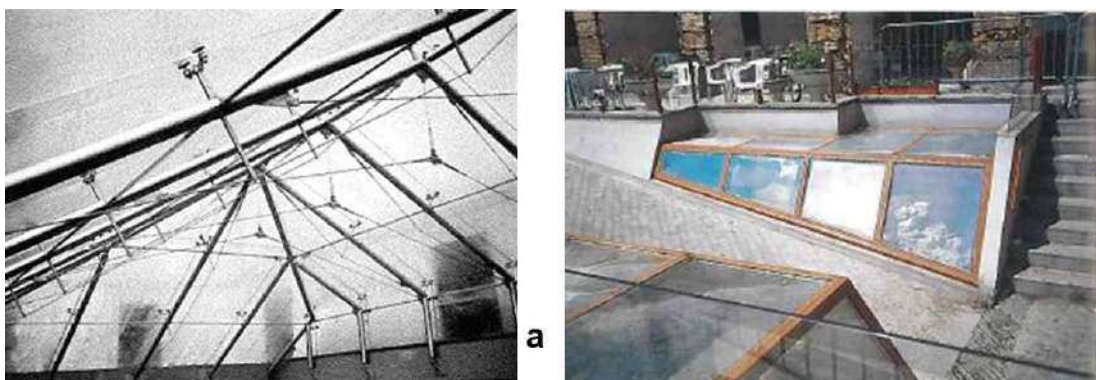


Figura 4.53: Imperfetta resa visiva di copertura in vetro: a) appannamento (da Pedeli e Pulga 2002); b) riflessione (da Marino 2009)

I vari aspetti ovviamente interagiscono: così in un sito conservato nel sottosuolo coperto da una vetrata può risultare invisibile dall'esterno perché il vetro in realtà riflette se l'ambiente sottostante non è abbastanza illuminato o perché si è appannato. Nel primo

caso viene meno l'aspetto comunicativo, e per ripristinarlo si devono illuminare di più i ruderi compromettendone la conservazione perché si favorisce l'attecchimento di alghe e altri microrganismi, nel secondo l'aspetto conservativo non è nemmeno garantito perché la condensa è sintomo di eccessiva umidità interna o comunque può iniziare a colare dal vetro sui materiali archeologici danneggiandoli (Fig. 4.53). In entrambi i casi la scelta del vetro non è stata ben ponderata in rapporto alle diverse esigenze ma solo in funzione di un generico indirizzo di fruibilità architettonica.

Situazioni come quelle di Fig. 4.54 evidenziano non solo l'insufficienza conservativa della copertura poiché non è in grado di reggere alle sollecitazioni ambientali previste per il sito, e questo spesso succede per le strutture provvisorie, ma anche la possibilità che la copertura stessa sia fonte di danno per i materiali, in questo caso in modo improvviso e traumatico.

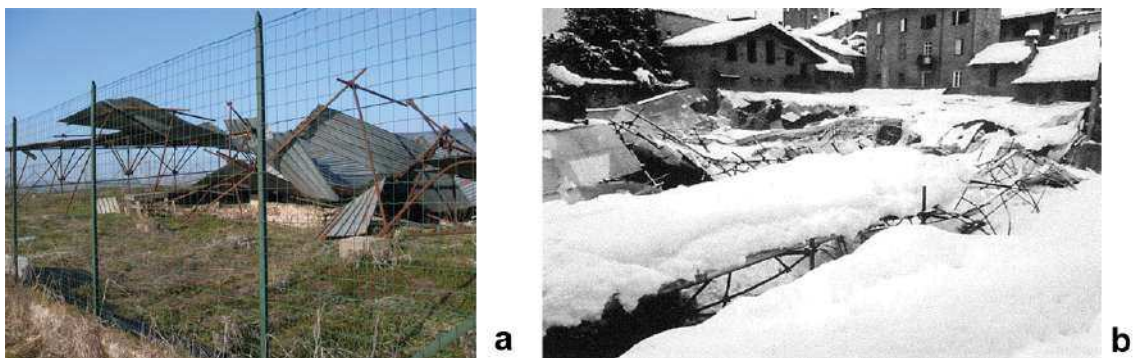


Figura 4.54: Danni indotti alle strutture archeologico per effetto del collasso della copertura provvisoria di protezione a causa: a) del vento (da [50]); b) della neve (da Pedeli e Pulga 2002)

4.4.2 La ricerca di una scheda di valutazione

Di fronte alla complessità appena ripercorsa, la proposta di una scheda di valutazione completa ed efficiente esula dagli obiettivi della presente tesi e richiederebbe, per poter rappresentare uno strumento di una qualche utilità, un'applicazione sistematica e supportata a livello centrale nell'ambito di un strategia complessiva.

Già Laurenti (2006) nell'elaborazione della Carta del Rischio aveva proposto e applicato una scheda di valutazione della copertura che ne esprimesse l'efficacia tramite due indici (Fig. 4.55) tuttavia, nonostante la rapidità del metodo, i dati raccolti erano forse troppo semplici e la valutazione finale spettava comunque al rilevamento climatico del sito per un certo periodo, riducendo la rappresentatività dello strumento speditivo.

Danzi (2010) ha proposto anch'egli una scheda di raccolta dati per la costruzione di un database relativo alle zone appartenenti all'antica *Regio X* romana, caratterizzata da una maggiore completezza del dato e quindi più adatta alla valutazione globale della situazione.

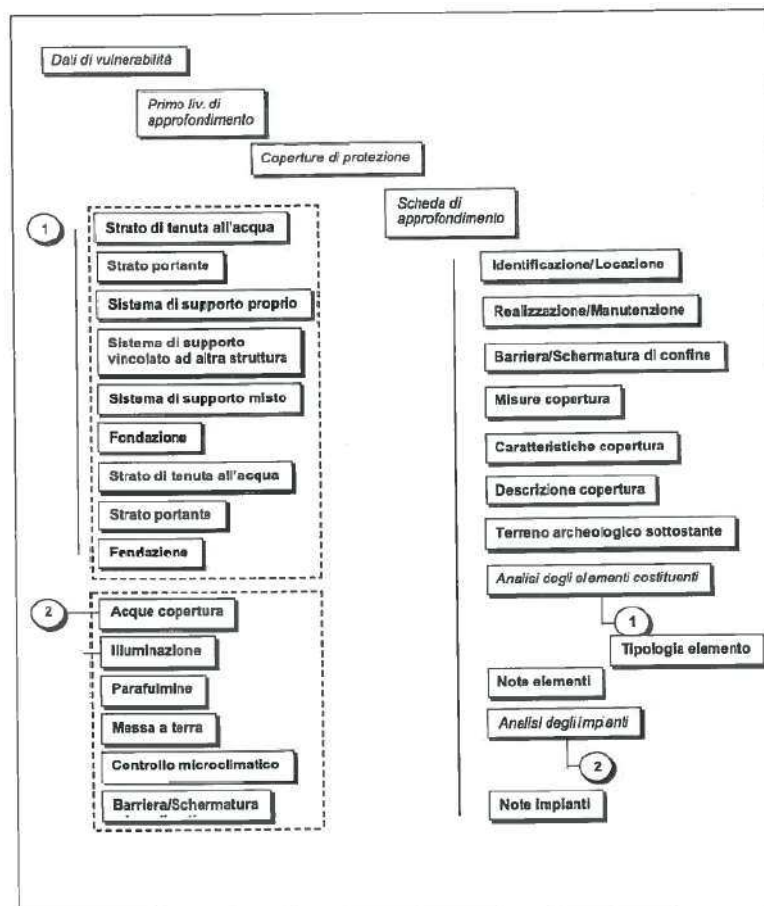


Figura 4.55: Componenti degli indici di valutazione dell'efficacia della copertura secondo (Laurenti 2006)

I punti salienti della scheda vengono di seguito riportati.

Consistenza archeologica: dimensioni, estensione della parte coperta e percentuale rispetto al totale;

Materiali sottoposti a copertura: es. intonaco, mosaico, opus sectile, struttura muraria, ecc.;

Condizioni climatiche del sito: esposizione agli agenti atmosferici, precipitazioni annue (possibilmente su base stagionale), inquinamento ambientale (stabilire parametri di valutazione ed eventuale riferimento a dati desunti da centraline di controllo ambientale).

Questi fattori permettono di formarsi un'idea dell'esposizione del sito, nei termini descritti al Par. 2.4, e di poter stabilire il livello delle azioni ambientali che lo interessano

Tipologia della struttura: copertura provvisoria, stabile, volume chiuso eventualmente climatizzato, copertura praticabile, ecc.). Presenza di elementi trasparenti o traslucidi come copertura;

Tipologia architettonica: es. tensostruttura, copertura a falda unica, a due falde, a padiglione, ecc.;

Materiali impiegati per gli elementi di copertura: trasparenti (policarbonato, vetro, metacrilato, ecc.), opalescenti (materiali satinati di varia natura, ecc.), opachi (lamiera, fibre di carbonio, cemento, legno, coppi, ecc.). La descrizione del “pacchetto di copertura” va effettuata a partire dallo strato più esterno;

Materiali impiegati per le strutture portanti: la descrizione delle strutture va effettuata a partire dal sistema di attacco al suolo e/o alle strutture esistenti fino all’applicazione del pacchetto di copertura;

Estensione della parte trasparente rispetto al totale della copertura : percentuale rispetto a superficie totale;

Dimensione e spessore delle lastre: min. max. - dimensione massima prodotta dalla stessa ditta;

Dati tecnici del materiale : materiale di base, massa, indice di trasparenza, rigidità/flessibilità degli elementi, resistenza a compressione/ flessione/ urti/ scalfitture/ acidi/ raggi UV;

Durabilità dichiarata in produzione, desunte da schede tecniche;

Utilizzo di tecnologie innovative e/o brevetti.

Il secondo gruppo di informazioni permette di avere una precisa descrizione della copertura di protezione e degli elementi tecnici di cui è composta. In particolare, è molto importante il dato sulla presenza e la consistenza delle parti trasparenti nella copertura, che sono più direttamente collegate alla determinazione del microclima interno.

Impatto ambientale: di produzione, di collocazione degli impianti produttivi, di smaltimento (possibilità di riciclaggio);

Reversibilità: possibilità ed efficienza di montaggio e smontaggio;

Valutazione della durabilità delle strutture portanti e degli elementi portati;

Necessità e facilità di manutenzione;

Compatibilità/invasività figurativa: valutazione di impatto archeologico secondo parametri condivisi;

Contributo della copertura alla musealizzazione del sito archeologico e facilitazione della comprensione/trasmisione delle informazioni relative ai reperti;

Il gruppo finale è quello più direttamente connesso alla valutazione in rapporto ai dati di base sul sito e sulle strutture protettive. Il problema tuttavia è l’individuazione di parametri effettivamente in grado di descrivere l’efficacia della copertura sotto i tre punti di vista del microclima interno (es. decadimento prestazionale nel tempo, opacizzazione, ingiallimento, viraggio di tinta, perdita di tenuta alle intemperie, ecc.), della compatibilità figurativa (es. impatto visivo, grado di trasparenza effettivo, distinguibilità) e del contributo alla comprensione (presenza di pannelli illustrativi, possibilità di inscenare ambienti, ricostruzione volumetrica o luminosa, ecc.).

4.5 Osservazioni finali

La copertura dei siti archeologici rappresenta un settore molto particolare del restauro con complesse implicazioni dottrinali e pratiche. Pur non implicando, in linea di principio, il contatto con la materia del lacerto archeologico, la copertura ha ricadute, a livello fisico e simbolico, importanti sul materiale e quindi la scelta di coprire non può essere motivata solo dal bisogno psicologico di “vedere un tetto” sul sito archeologico.

Il capitolo presenta pertanto un nutrito campionario di esperienze di valorizzazione di siti archeologici in Europa secondo le predilezioni vigenti nelle diverse Nazioni e il succedersi degli approcci al restauro nelle varie epoche. Se la classificazione è possibile, in ragione di diversi criteri — forma architettonica, ragioni dell’intervento, durata temporale, ecc. — molto più ardua è la valutazione dell’efficacia delle stesse.

In effetti, pur nell’ampiezza della letteratura specifica, è difficile individuare criteri di valutazione condivisi e riconosciuti come rappresentativi della situazione. Tuttavia è ormai acquisito che la copertura di un sito archeologico è un *processo* che muove da una fase di accertamento — dei valori, dei problemi, dei soggetti coinvolti Capp. 1-3 —, ad una di proposta di progetto secondo criteri verificabili (Cap. 5) al mantenimento in esercizio associato al monitoraggio delle condizioni, sia delle struttura che del sito. Una volta che le condizioni adeguate non sono più garantite è necessario procedere alla sostituzione (Fig. 4.55).

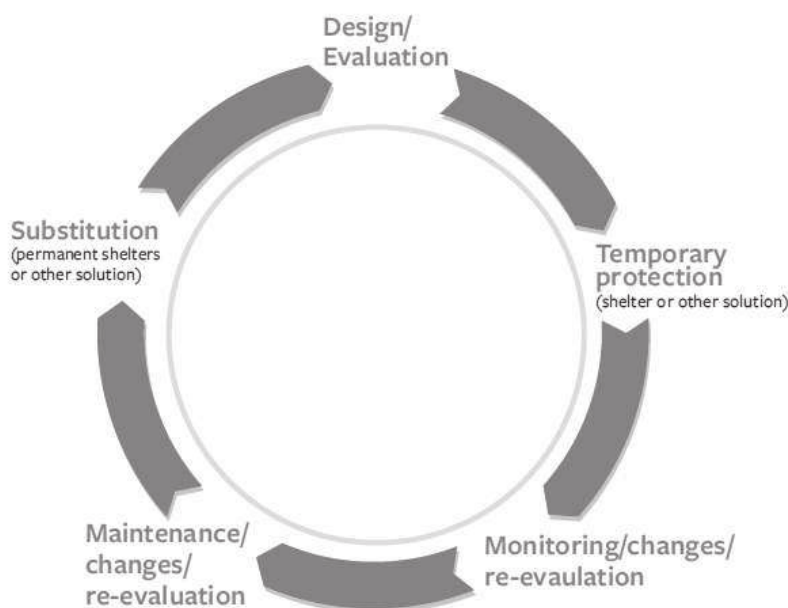


Figura 4.56: Il circolo virtuoso dell’intervento sul sito archeologico (da Aslan et al. 2018)

Capitolo 5

Proposta di linee guida per il progetto

Il progetto di intervento sull'opera deve essere studiato per poter rispondere non solo ai problemi ed alle normative odierne, ma possibilmente a problemi o prescrizioni che possono insorgere nel futuro (cfr. Cap. 4).

I fattori da considerare sono la durata ipotizzata dell'intervento (breve, medio o lungo termine, possibilità di implementazione in fasi, ecc.), le possibilità di aggiornamento e sostituzione parziale o integrale, le possibilità di gestione e manutenzione del manufatto, la sensibilità necessaria per intervenire — e quindi modificare — parte del patrimonio collettivo. La progettazione corretta nasce da un'analisi preliminare delle condizioni particolari del sito evidenziate in precedenza (degrado, dissesto, qualità dei materiali) e dalle condizioni dell'ambiente circostante (agenti ambientali e atmosferici, ambiente socio-culturale di riferimento) per poter garantire l'efficacia dell'intervento nel tempo e la sua controllabilità tramite parametri facilmente valutabili. Scelte apparentemente logiche e intelligenti ai fini di allestimento potrebbero non esserlo nella prospettiva della conservazione: esempio tipico è l'uso del vetro, la cui trasparenza è una proprietà ricercata al fine di alleggerire l'impatto visivo della nuova struttura (Barou et al. 2019) ma è risultata più che altro deleteria per la conservazione dei materiali archeologici (De La Torre 1997; Marino 2009). La manutenzione ed un progetto effettivamente interdisciplinare rimangono capisaldi fondamentali. La copertura non è l'unica soluzione, ma è *una* soluzione, altrettanto valida del rinterro o della conservazione all'aperto, una volta che siano stati messi in atto interventi adeguati di sistemazione delle zone limitrofe (drenaggio, accessibilità).

La complessità della materia, in rapporto alla possibilità di formulare specifici criteri per il progetto delle protezioni archeologiche è ostacolata inoltre dalla presenza nella letteratura specialistica di indicazioni numerose ma poco sistematiche in merito a singole esperienze di copertura, spesso concretizzatisi in elenchi più o meno completi di "criteri" rispettati nei successivi progetti. Al di là della preminenza, in funzione della formazione dell'autore, assegnata ad una certa gamma di criteri rispetto ad altra, si riscontra notevole confusione tra "principi generali" a carattere etico-deontologico, "esigenze" e "requisiti" pratici e prescrittivi della progettazione. In secondo luogo, specie nei casi in cui il discorso è reso più complicato dal "parlare per esempi", non risulta immediatamente evidente il criterio

discriminante gli esempi virtuosi da quelli negativi.

Un approccio critico e scientifico al problema può invece essere raggiunto attraverso l'applicazione di un metodo esigenziale-prestazionale, sviluppato originariamente per il miglioramento dei prodotti e dei processi industriali e in seguito applicato alla progettazione razionale di edifici nuovi. In Italia in particolare è stata l'Università di Palermo ad affrontare il tema dell'applicazione di questo metodo al campo dei beni culturali edificati e in particolare dei ruderi archeologici, successivamente utilizzato anche per la programmazione degli interventi conservativi delle aree archeologiche di Roma.



Figura 5.1: Pittogrammi di alcune esigenze connesse al mantenimento e all'intervento sul sito archeologico: dalle modalità di inserimento e cantierizzazione, ai costi, al rapporto con il pubblico

Riassumendo quanto presentato nei capitoli precedenti (Fig. 5.1), l'intervento sul sito archeologico deve poter soddisfare: *l'istanza conservativa*, della sopravvivenza materiale del bene; *l'istanza fruitiva*, legata alla visita e alla gestione dei percorsi; *l'istanza ambientale* che interessa soprattutto le nuove coperture per come si inseriscono nell'ambiente del sito archeologico; *l'istanza archeologica*, cioè il rapporto tra il sistema strutturale e il rudere. Deve inoltre assicurare la *sostenibilità finanziaria*, rispetto alle risorse utilizzate per la realizzazione e soprattutto la manutenzione di copertura e rovine (Sposito 2016). Il coordinamento tra le varie istanze e l'individuazione della forma architettonica più opportuna sono al centro di questo e del prossimo capitolo.

5.1 L'approccio esigenziale-prestazionale al sito archeologico

La *qualità* edilizia è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'oggetto edilizio, o delle sue parti, che gli conferiscono la capacità di soddisfare, attraverso le prestazioni di quelle parti, esigenze espresse, implicite o cogenti delle parti interessate (UNI EN ISO 9000). In altre parole esprime il grado di soddisfacimento-compatibilità tra i bisogni e la soluzione architettonica, la coerenza tra forma e contenuto. Essa è riferita agli elementi materiali e immateriali dello spazio ma può esplicarsi anche nel processo, quindi nella produzione di un oggetto.

Nello specifico caso dei beni culturali, a titolo solamente esplicativo, perché la realtà è molto più complessa e i singoli contributi sono difficilmente separabili, la qualità si esplica in (Sposito 2006):

Qualità ambientale. È l'adeguato inserimento del prodotto conservativo all'interno del contesto ambientale, naturale, urbano e le sue specificità storiche, culturali, formali, sociali;

Qualità compositiva. Assegna i valori estetico formali agli spazi e ai volumi della protezione per farla passare da “riparo” a opera d’architettura;

Qualità fruitiva. Consente la funzionalità e la fruizione degli spazi a tutte le utenze, comprese quelle deboli eventualmente con percorsi preferenziali e relazionati all’esigenza dell’utente;

Qualità costruttiva, tecnica e tecnologica. È la scelta coordinata di materiali, componenti e sistemi costruttivi in relazione ai requisiti di affidabilità, durata, costi di manutenzione;

Qualità ecosistemica. Ricerca l’ottimizzazione delle condizioni di benessere per le utenze, dentro e fuori gli interventi di protezione;

Qualità energetica. È la corretta scelta e l’oculato utilizzo delle fonti energetiche, optando per quelle rinnovabili da un lato e per il basso consumo dall’altro;

Qualità socio-economica-gestionale. Il vantaggio di una realtà sociale che richiede interventi che rispondano alle sue esigenze in rapporto alle risorse economiche disponibili

Nell’approccio razionale alla produzione edilizia, l’edificio viene pensato come un sistema di parti, individuabili nei due ambiti del (sotto)sistema ambientale e del (sotto)sistema tecnologico, le cui caratteristiche corrispondono a ciò che serve per svolgere correttamente le attività dell’utente (esigenze). I valori prescritti per tali caratteristiche, tradotti in termini tecnici, corrispondono ai requisiti mentre i valori registrati nella situazione reale esprimono le prestazioni.

Nell’approccio classico, l’utenza è chiamata ad esprimere gli obiettivi minimi del prodotto (esigenze) che il progettista deve poter tradurre e completare nei termini tecnici della progettazione (requisiti). Il risultato può essere controllato, in termini di soddisfazione dell’utenza, attraverso la risposta reale del prodotto (prestazione). Nel caso invece di un progetto che interessi un bene (culturale) edificato il quadro esigenziale non può essere stabilito dal solo utente in quanto fruitore del bene, ma dall’utente in quanto tecnico-esperto del settore (archeologo, conservatore, architetto, ingegnere, impiantista, ...) il cui giudizio, ai fini della conservazione e della valorizzazione è comunque prevalente su quello dell’utilizzatore. In ragione di tale esigenza, rispetto alle attività insediate o potenzialmente insediabili, è possibile accettare prestazioni inferiori o parziali rispetto ai livelli correntemente accettati (Cecchi e Gasparoli 2010).

In entrambi i casi, a partire dall’analisi dei bisogni dell’utenza, la definizione della qualità minima del prodotto permette di pensare il progetto quale raggiungimento di obiettivi piuttosto di un insieme di forme e di mezzi coi quali conseguirli: l’attenzione è posta su *cosa* garantisce il prodotto piuttosto che sul *come* esso venga realizzato. La progettazione in termini di qualità da raggiungere assicura l’affidabilità del prodotto, cioè la sua rispondenza alle esigenze, in un certo arco di tempo. Ancora una volta, rispetto al ciclo di vita del nuovo, le prestazioni “ridotte” del bene culturale corrispondono a durate più brevi tra un intervento di riqualificazione e l’altro, corrispondente al ripristino dei livelli prestazionali soddisfacenti. Esse tuttavia rientrano legittimamente nelle nuove possibilità di uso individuate a partire da nuovi bisogni da parte della società contemporanea o da una puntuale analisi delle condizioni di conservazioni del bene che stabiliscono cosa sarà conservato e cosa deve essere trasformato (Cecchi e Gasparoli 2011).

5.1.1 L'utenza

Lo studio dell'utenza è la base per la definizione delle esigenze. Sul sito archeologico è possibile incontrare (Pineschi 2007): a) l'utenza specialistica, per la quale conta di più la cura scientifica dello scavo e della presentazione (stratigrafia, tecniche edilizie, lettura della decorazione, ecc.); b) l'utenza orientata di cultori/studiosi, non esperti nel settore tecnico o archeologico, per cui l'aspetto scientifico può essere di minor interesse rispetto a quello storico-culturale, legato alla esplicitazione di rimandi, periodi storici, assonanze magari con l'aggiunta di nozioni tecniche per arricchire l'esperienza; c) l'utenza con intenti didattici, ad esempio fruitori di visite guidate in cui l'accento viene posto essenzialmente sull'aspetto storico-sociale e di costume del manufatto; d) l'utenza occasionale, con visite a scopo ricreativo o associativo, dove anche in questo caso l'attenzione è concentrata sugli aspetti storici; e) il *turista culturale*, il tipo prevalente di fruitore, interessato più che altro ad una certa vista o un certo oggetto presente sul posto, conosciuti attraverso la comunicazione di massa (Fig. 5.2).

A questa utenza che comunque "fruisce" del bene nel senso che ne fa uso a valle della fase di scoperta e ricerca, si aggiunge l'utenza che è coinvolta nella creazione, per così dire, del bene, ovvero archeologi, conservatori e gli altri professionisti coinvolti nel cantiere archeologico e nella fase di diagnosi e di ricerca. Sono questi ultimi in realtà che esprimono le esigenze più stringenti in rapporto alla protezione, conservazione e valorizzazione del bene.



Figura 5.2: Utenze possibili del sito archeologico

5.1.2 Le esigenze

L'esigenza è quanto viene richiesto per il normale e funzionale svolgimento di un'attività da parte di un utente o di un elemento tecnologico. La normativa prestazionale (UNI 8289) raggruppa le esigenze in sette classi che hanno come normale riferimento l'utente e il bene. Nel caso di beni culturali in generale e beni archeologici in particolare, la loro stessa natura richiede la definizione di esigenze aggiuntive finalizzate alla loro protezione e conservazione che si riflettono poi anche negli interventi possibili su di essi. Vale la pena di osservare che i cosiddetti criteri del restauro, salvaguardia dell'autenticità, minimo intervento, reversibilità, compatibilità, durabilità, riconoscibilità, attualità espressiva, per quanto rappresentino "richieste" per l'intervento, e possano sembrare requisiti, sono in realtà esigenze poiché possono essere ottenuti solo tramite caratteristiche — cioè i veri requisiti — più specifiche.

Minissi (1985) pone come principi-guida dell'agire dell'architetto sul sito archeologico a) la tangibile ed effettiva reversibilità; b) l'uso di materiali e tecniche totalmente dissociati da quelle originarie della preesistenza e chiaramente databili; c) la rinuncia a gratuite e ingiustificate invenzioni formali; d) la soluzione ottimale degli eventuali problemi museografici; e) la massima cura nel controllo delle immagini parziali e di insieme prodotte dall'intervento. Si tratta di criteri ad ampio spettro, derivanti in massima parte dalla teoria del restauro, la cui concreta possibilità di una valida applicazione dipende in prima analisi da una profonda competenza nel campo sia del progetto d'architettura che di allestimento museale. Ad un livello di ampiezza simile si trovano i poli della valorizzazione del sito archeologico in ambito urbano individuati da A. Tricoli (Vaudetti et al. 2013) espressi come imperativi di a) **integrare** (relazione fra città e area di scavo); b) **proteggere** (conservazione del sito); c) **rivelare** (significati simbolici e culturali legati alla visibilità); d) **evidenziare** (comunicazione dei contenuti storico-archeologici dei resti). Ancora Vaudetti (Vaudetti et al. 2013) individua tre poli rispetto a cui sviluppare la progettazione, rappresentati da ambiente costruito, reperti e visitatori. Il progetto deve assicurare pertanto: a) il rispetto delle caratteristiche architettoniche e ambientali della sede; b) il mantenimento di condizioni di conservazione soddisfacenti anche in situazioni in cui è consentito l'accesso al pubblico; c) il benessere del pubblico all'interno del sito, dal punto di vista dell'informazione e della percezione delle opere e dell'ambiente e dal punto di vista funzionale con riferimento alla visita (vedere, consultare, informarsi riposare).

Agnew (2001) stabilisce anche una scala tra le esigenze, pur se non sono così individuate nel suo testo, ponendo al primo posto l'efficacia protettiva (funzione protettiva dagli agenti di degrado ambientali e biologici e dal vandalismo), a cui seguono la funzionalità interpretativa e di comunicazione (supporto all'interpretazione), l'estetica dell'inserimento nel sito e infine la ricerca dell'effetto architettonico in modo da assicurare il buon inserimento nel sito, il dialogo con la preesistenza senza che questa ne venga soffocata.

Thompson e Taylor (2001) parlano invece di «criteri», più ampi di quelli evidenziati da Agnew, per la progettazione di una copertura archeologica, cui attribuiscono anche una scala di importanza relativa. In questo caso prevalgono gli aspetti visibili immediatamente giudicabili di qualità formale (primo impatto visivo, significato, valori di comunità, percezione) e dei materiali (effetto estetico, impatto delle fondazioni, durabilità, cantierabilità). Seguono le considerazioni per il sistema strutturale (costo, impatto fisico sul sito); l'impatto sullo strato archeologico; il costo; il programma interpretativo; l'inserimento nel paesaggio (vista, sostenibilità); la sicurezza (dei manufatti e del visitatore); la segnaletica (sicurezza del sito dal visitatore informato/sensibilizzato); l'accessibilità (che permetta anche una certa vicinanza alla rovina); le modalità di costruzione (impatto del cantiere e dei macchinari sul sito) per concludersi con, aspetto molto importante, la manutenzione (riduzione dei costi, piano di gestione).

È possibile ricondurre i criteri e le esigenze fin qui illustrate alle sette classi riconosciute dalla norma; anche in questo caso si tratta di fatto di una schematizzazione, poiché alcuni potrebbero essere ricondotti a più classi. Secondo la norma UNI 8289 si devono valutare: **sicurezza**, insieme delle condizioni relative all'incolumità pubblica degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione dei danni in dipendenza dei danni connessi a fattori accidentali nell'esercizio del sistema edilizio; **benessere**, insieme delle condizioni relative alla vita, alla salute e allo svolgimento delle attività degli utenti; **gestione**, insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio; **fruibilità**, l'attitudine del sistema

edilizio ad essere adeguatamente usato; **aspetto**, insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema da parte degli utenti; **integrabilità**, l'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro; **uso delle risorse**, insieme delle condizioni relative al miglioramento degli stati dei sovrasistemi di cui il sistema edilizio è parte.

Nella trasposizione di queste definizioni nell'ambito del sito archeologico, quest'ultimo rappresenta un soggetto *per se* in grado di esprimere esigenze al pari dell'utenza, anche se queste nella realtà vengono esplicitate dai tecnici e dagli esperti.

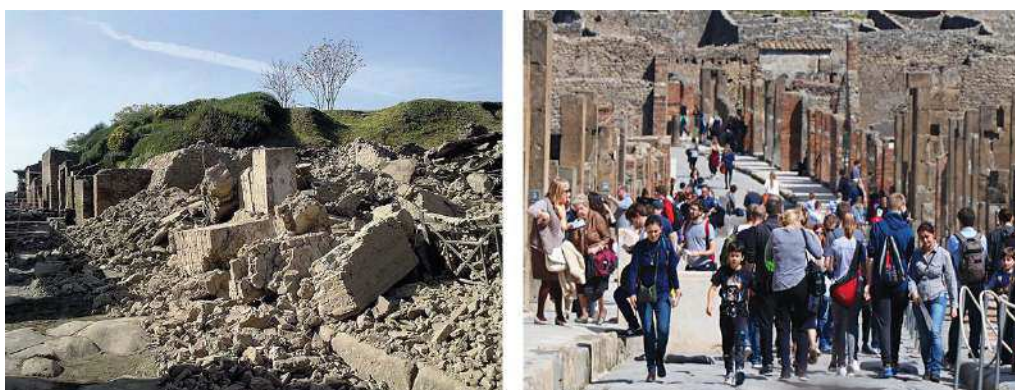


Figura 5.3: La sicurezza sul sito archeologico: dal punto di vista del visitatore rispetto a crolli e distacchi delle strutture archeologiche; dal punto di vista di una pressione antropica eccessiva rispetto al sito



Figura 5.4: La copertura o l'assetto geotecnico ed idraulico del sito possono determinare condizioni di stress per i materiali archeologici e per i visitatori

Sicurezza. Insieme delle condizioni che garantiscono l'incolumità a) del bene dalle aggressioni esterne, dirette o indirette, di origine antropica o naturale; b) dell'utente nel corso della visita (Fig. 5.3). La conservazione materiale non può essere garantita se non vengono rimosse le minacce dirette che possono danneggiare il sito dovute agli agenti naturali (frane, alluvioni, erosione marina, terremoti, ...) così come le aggressioni che gli utenti possono apportare, volontariamente o involontariamente ai materiali archeologici (vandalismo, usura, uso improprio). Una volta eliminati i fattori aggressivi, il bene è sostanzialmente in equilibrio con l'ambiente circostante e la sua durata può dirsi effettivamente millenaria (D'Agostino et al. 2009).

Di converso il visitatore deve poter fruire del sito in sicurezza, in modo tale da non essere interessato da crolli provenienti dal rudere o incidenti lungo il percorso di visita.

Questa esigenza trova pertanto riscontro nella necessità di predisporre una rete di drenaggio e raccolta delle acque superficiali e meteoriche, nella regolamentazione degli accessi e dei percorsi, nella sistemazione geotecnica opportuna del terreno attorno al sito (Fig. 5.3).

Benessere. Insieme delle condizioni che definiscono la qualità dell'ambiente rispetto ai criteri della conservazione dei materiali archeologici ("benessere della materia", Sposito 2004) anche prevalendo sul comfort dell'utente (Fig. 5.4). Una volta assicurato il bene dal danno diretto, va messo in sicurezza dal degrado esercitato quotidianamente, principalmente attraverso un ambiente i cui parametri siano il più possibile costanti, con cicli termici e di umidità attenuati (Camuffo 2014; Laurenti 2006). Le condizioni di benessere del materiale devono poter essere garantite anche in condizioni di bassa manutenzione e sfruttando il più possibile le caratteristiche ambientali del luogo; anche la compatibilità chimico-fisica tra i materiali archeologici e quelli nuovi acquista un ruolo determinante.



Figura 5.5: Una gestione adeguata del sito, come le visite in corso di scavo, permette di stimolare l'attenzione e la sensibilità delle comunità civiche al problema dei siti archeologici

Gestione. Insieme delle condizioni che garantiscono l'economia di esercizio del sito archeologico e della struttura di protezione per un tempo commisurato alle esigenze di salvaguardia (Fig. 5.5).

Già nel corso della costruzione della protezione è necessario contenere al minimo l'impatto del cantiere sul sito sia in termini di durata sia in termini di macchinari di supporto. Durante l'esercizio della copertura vi può essere l'esigenza di modificarla, in termini di estensione per adattarla a variazioni dello scavo o di tecnico-funzionali per aggiornare o aggiustare parti o elementi divenuti o ritenuti obsoleti per effetto di un cambio di sensibilità. In quest'ottica rientra anche la possibilità della completa

rimozione dell'intervento. L'economia di esercizio, nel senso di costo monetario, si esplica nelle dimensioni di uso di pezzi facilmente reperibili sul mercato; di contenimento dell'impiantistica con contestuale adozione di tecniche di funzionamento tipo "casa passiva"; facilità di manutenzione intesa come accesso alle parti che devono/possono essere sostituite o pulite; uso di materiali durevoli. In generale, il costo della struttura deve essere commisurato al rientro culturale e sociale che si immagina di ottenere dal sito, considerando l'eventualità della rimozione della copertura anticipata rispetto a quanto previsto. La partecipazione attiva e il coinvolgimento delle persone che risiedono attorno al sito è un fattore di gestione importante per assicurare il perdurare della manutenzione e della cura anche in assenza di un intervento dell'autorità pubblica preposta. Si parla di autoprotezione impiantistica, variabilità di configurazione, ampliabilità, replica, possibilità di rimozione, modificabilità nel tempo.



Figura 5.6: Impossibilità di poter fruire del sito archeologico per l'assenza di strategie comunicative o per la loro incuria



Figura 5.7: L'immagine attuale del sito archeologico è fortemente influenzata da quanto viene approntato per poterlo fruire

Fruibilità. Insieme delle condizioni che consentono il corretto uso e la comprensibilità del sito archeologico (Fig. 5.6). La fruizione del sito va sempre intesa come combinazione della fruibilità fisica e della accessibilità ai contenuti spirituali e ai significati del sito. Gli spazi devono poter essere percorsi da un'utenza il più ampia possibile, anche con difficoltà motorie, e gli stessi percorsi devono poter essere completati mediante

pannellature e cartellonistica che aiutino a riconfigurare la spazialità originaria interna del sito e forniscano l'adeguato supporto didascalico. Anche l'illuminazione, fattore di benessere, può avere un ulteriore ruolo nella trasmissione dei significati mettendo in evidenza certi punti o suggerendo le condizioni di illuminamento degli spazi antichi.



Figura 5.8: L'integrazione presuppone che le strutture nuove possano essere adeguatamente dotate di impianti in grado di mantenere il clima adatto alla conservazione così come, anche in loro assenza, che la struttura nuova dialoghi con quella antica

Aspetto. Insieme delle condizioni che regolano la percezione visiva del sito archeologico in rapporto all'inserimento di una nuova struttura (Fig. 5.7).

L'effetto visivo della copertura ha ovviamente il riscontro più diretto sul fruitore e determina la natura e la qualità finale dell'intervento. I criteri di distinguibilità e riconoscibilità, la minimizzazione dell'impatto, le modalità di reintegrazione delle lacune trovano qui la loro applicazione, assieme alle scelte architettoniche in ordine all'inserimento nel paesaggio e al rapporto con il costruito esistente. Vi è l'esigenza di ridurre l'impatto ambientale della protezione, che deve svolgere la sua funzione senza avere una importanza maggiore del sito da valorizzare, oltre ad inserirsi in modo intelligente nel contesto ambientale, e pertanto la forma può suggerire o meno la volumetria del monumento antico e la sua distribuzione planimetrica (Sposito 2004, 2005). La pulizia formale delle giunzioni, la riduzione delle strutture in vista, la presenza di pacchetti architettonici di finitura superficiale sono tutti elementi dove queste esigenze si possono esplicitare. In pratica si deve garantire la comprensibilità del monumento, favorendo la lettura dell'architettura antica, del suo uso, e contemporaneamente evitare di sopraffarlo con gli stessi strumenti necessari alla stessa lettura, i quali per quanto stimolati da dati oggettivi sono sempre frutto della soggettività.

Integrabilità. È l'attitudine delle parti del sistema a connettersi funzionalmente con le strutture preesistenti e tra loro (Fig. 5.8).

Il rapporto con la preesistenza comporta l'adattabilità e la flessibilità in orizzontale (dimensione posizione delle basi di appoggio) e in verticale (altezza dei sostegni), l'uso di modularità e serialità delle strutture che favoriscano le aggregazioni (ampliamento dello scavo) e rispettino le dimensioni e gli allineamenti antichi dei reperti. L'integrazione tra il nuovo e l'antico richiede anche di ridurre il numero di pilastri, poterne variare a piacere la collocazione (esterna o interna al sito o alle murature),

ridurre l'entità delle fondazioni riducendone il volume e l'aggressione alla stratigrafia archeologica. Nella struttura nuova si ha, invece, la necessità di prevedere l'integrazione di impianti in modo che risultino nascosti alla vista ma facilmente accessibili per la manutenzione.

Utilizzazione delle risorse. È l'insieme delle condizioni che rendono sostenibile, tanto per l'ambiente archeologico, quanto per l'ambiente naturale, l'uso delle risorse (Fig. 5.9).

Anche il patrimonio archeologico è una "risorsa non rinnovabile" (Manacorda 2007) e, nel concetto europeo e italiano del restauro, la sua autenticità rappresenta il suo principale valore. È pertanto necessario assicurarsi che l'intervento non snaturi né alteri la materia e il suo ambiente e quindi va valutata la quantità e la qualità dell'alterazione delle strutture antiche richieste per l'installazione, dando priorità all'integrità fisica delle strutture componenti il monumento e l'area archeologica. Ciò comporta anche la tangibile ed effettiva reversibilità di tutti i dispositivi e strutture che concorrono all'organizzazione dell'area archeologica; la fattibilità delle opere senza rischio per i manufatti archeologici; la possibilità di recuperare e riutilizzare gli elementi costituenti anche per il rimontaggio un diverso sito; la facilità di reperimento dei materiali nella produzione industriale edilizia. Dal punto di vista ambientale v'è poi l'esigenza di dover utilizzare materiali che possano essere reimpiegati o riciclati una volta smontati e la cui produzione non assorba grandi quantità di energia e di materie prime.



Figura 5.9: La risorsa archeologica è non rinnovabile: lo scavo che espone il materiale senza proteggerlo è altrettanto dannoso della ricostruzione che non si distingue dall'originale

5.1.3 I requisiti

Secondo Sposito (2016) la copertura deve poter garantire, in rapporto all'ambiente in cui si inserisce: a) un basso impatto ambientale, così da non alterare il rapporto fra la preesistenza archeologica e il contesto; b) un basso impatto archeologico, cioè la minima profondità ed estensione delle fondazioni e la massima leggerezza dei sostegni verticali, non eccessivamente invasivi rispetto alla materia archeologica; c) la reversibilità del sistema di protezione al termine del suo ciclo di vita senza danni al materiale archeologico; d) la durabilità dei materiali e del sistema costruttivo per ridurre il rischio di perdita di prestazioni e l'avvio del proprio degrado; e) l'affidabilità dei materiali e del sistema

costruttivo, cosicché non perdano le prestazioni iniziali prima della fine del ciclo di vita previsto; f) la riconoscibilità e l'identità dell'intervento, a cui i materiali e le tecniche moderne forniscano un'integrazione dell'immagine senza porsi come falso storico; g) la manutenibilità dell'opera, adottando soluzioni tecniche che agevolino gli interventi di manutenzione programmata; h) la sicurezza e la stabilità, per gli utenti e per il bene, con l'impiego di sistemi strutturali a telaio, eventualmente controventato; i) la modularità e la componibilità del sistema costruttivo, tali da consentirne l'ampliamento durante le varie fasi di scavo e la facile relazione con la preesistenza; l) la facilità di trasporto a mano o con piccoli mezzi e di montaggio in tempi brevi e senza difficoltà.

I requisiti previsti dalla norma (UNI 8290-2) sono la trasposizione a livello tecnico delle esigenze nel confronto con i sistemi di agenti, vale a dire l'insieme dei fattori ambientali ed economici che interessano gli edifici. Come per la norma, per «controllo» si intende il complesso di operazioni mediante le quali le variabili essenziali dello stato del sistema vengono mantenuti entro limiti assegnati.

L'elenco che segue cerca di essere esauriente in rapporto alle esigenze descritte in precedenza e ai criteri individuati in letteratura ma la sua completezza è più difficilmente raggiungibile poiché alcuni requisiti qui inseriti in una certa classe potrebbero trovare posto anche in un'altra, per effetto di una vera sovrapposizione di ambiti di una diversa sensibilità all'argomento.

Le definizioni di seguito proposte nascono dalla combinazione delle espressioni di norma con le indicazioni espresse da Agnew e Brigland (2006), Aslan et al. (2018), Camuffo (2014), Cecchi e Gasparoli (2010), Di Muzio (2007, 2010a), Gasparoli (2014), Gasparoli et al. (2013), Marino (2009), Nicoletta (1998), Pedeli e Pulga (2002), Ruggieri Tricoli (2007) e Vaudetti et al. (2013) (Figg. 5.10-5.15).

— REQUISITI DI SICUREZZA

Controllo dell'acqua superficiale. Idoneità del sistema, nuovo o antico ripristinato, di raccolta e canalizzazione dell'acqua superficiale compresa quella proveniente dal manto di copertura;

Tenuta alle precipitazioni. Idoneità del manto di copertura e delle chiusure verticali perimetrali di impedire l'ingresso all'acqua, alla neve, alla grandine anche trasportate dal vento.

Comportamento al fuoco. Attitudine, nell'impossibilità di installare impianti appositi, a non partecipare all'incendio e di conservare le prestazioni per un certo tempo soprattutto in strutture chiuse o semiconfinate;

Percorribilità. Idoneità del percorso a garantire: a) la sicurezza degli utenti durante la visita da crolli o rotture inattese delle strutture del rudere; b) la protezione dei materiali archeologici da aggressioni antropiche volontarie (vandalismo) o involontarie (usura); c) accessibilità da parte degli operatori alle parti che richiedono una più assidua manutenzione;

Controllo del terreno circostante. Idoneità delle opere di contenimento del terreno a mantenere la forma e la stabilità delle sezioni di scavo nelle diverse condizioni atmosferiche;

Controllo del flusso luminoso. Attitudine del sistema a consentire e regolare l'ingresso di energia luminosa sui materiali archeologici;



Figura 5.10: L'intervento di F. Ceschi sulla villa romana di Patti Marina. La passerella sospesa alla copertura salvaguarda i materiali dal calpestio e consente la chiara visione del sito; le strutture nuove si allineano alla preesistenza archeologica (da [5])

— REQUISITI DI BENESSERE

Controllo della condensazione superficiale. Attitudine ad evitare la formazione di condensa sulla superficie degli elementi e dei materiali archeologici;

Controllo dell'inerzia termica. Attitudine ad attenuare entro valori opportuni l'ampiezza di oscillazione della temperatura e a ritardarne l'effetto;

Controllo degli inquinanti. Idoneità del sistema ad impedire l'ingresso di inquinanti (gas e polveri) dall'esterno o a smaltire gli inquinanti interni apportati ad esempio dai visitatori;

Controllo del microclima. Attitudine del sistema a garantire un microclima stabile in termini di: a) costanza della temperatura; b) controllo dell'umidità ambientale; c) limitazione dei moti dell'aria; d) controllo del soleggiamento;

Controllo del fattore solare. Idoneità del sistema a limitare l'ingresso di radiazioni (raggi UV e IR) ritenute nocive per la conservazione dei materiali archeologici e delle superfici decorate e in grado di aumentare la temperatura interna;

Compatibilità chimico-fisica Idoneità dei materiali impiegati per il consolidamento delle strutture archeologiche a non indurre danni o fenomeni di degrado dovuti alla diversità di comportamento meccanico o all'apporto di composti reagenti;

Isolamento termico Attitudine ad assicurare una opportuna resistenza al passaggio di calore in funzione delle condizioni climatiche;

Ventilazione Possibilità di ottenere il ricambio dell'aria a velocità e temperature adeguate alle condizioni di conservazione per via naturale o meccanica;

Illuminazione Idoneità degli impianti di illuminazione rispetto alle condizioni di conservazione ottimali (emissione di calore, emissione di radiazioni nocive per i materiali);



Figura 5.11: La copertura inerbita del sito archeologico di Akrotiri consente di ridurre i cicli termici giornalieri e limitare il guadagno solare garantendo al contempo livelli di illuminazione e ventilazioni adeguati alle necessità dei materiali archeologici e dei visitatori (da Doumas 2013)



Figura 5.12: Le strutture leggere prefabbricate sono caratterizzate da un impatto sul sito molto limitato in termini di fondazioni e cantierizzazione tuttavia comportano oneri manutentivi notevoli perché si mantengono davvero funzionali e spesso determinano un impatto visivo elevato

— REQUISITI DI GESTIONE

Mitigazione. Capacità di attenuare il passaggio dei materiali dalle condizioni di seppellimento a quelle subaeree;

Supporto alle operazioni di scavo . Idoneità del sistema a fornire protezione e punti di supporto e di aggancio agli scavatori e ai materiali nel corso dello scavo;

Prefabbricazione. Possibilità di utilizzare elementi prodotti a catalogo e facilmente reperibili

- Rimovibilità.** Attitudine del sistema ad essere rimosso dal sito di installazione senza lasciare tracce evidenti sul terreno e sui materiali archeologici e a costi contenuti;
- Reversibilità.** Attitudine del sistema ad essere rimosso ripristinando le condizioni precedenti alla sua installazione
- Trasportabilità.** Attitudine dei componenti del sistema ad essere movimentati a mano o in piccoli gruppi senza l'ausilio di macchinari;
- Modificabilità.** Possibilità di rimuovere, smontare, spostare la copertura o di applicarla anche su siti diversi senza che si verifichino alterazione della capacità portante o estetica e con costi limitati;
- Facilità di montaggio.** Possibilità di montare, smontare o sostituire il sistema o parti di esso senza ricorrere a manodopera specializzata nel sistema ma solo addestrata al lavoro in condizioni archeologiche;
- Cantierabilità** Possibilità di montare i componenti del sistema in assenza del supporto di macchinari complessi e ingombranti;
- Montaggio a secco.** Possibilità di realizzare la struttura esclusivamente con lavorazioni e connessioni a secco e non a umido (getti in cls);
- Durabilità.** Attitudine del materiale e del sistema a rimanere esposto alle condizioni ambientali senza subire decadimento delle prestazioni
- Manutenibilità** Possibilità di eseguire le operazioni finalizzate al mantenimento in efficienza del sistema rapidamente, a costi contenuti e senza l'ausilio di macchinari o elementi complessi
- Pulibilità** Attitudine a consentire la rimozione di sporcizia e sostanze indesiderate sul sistema e di consentirla sui materiali archeologici
- Ispezionabilità.** Idoneità a consentire l'ispezione delle parti strutturali, dei giunti del sistema, degli impianti e delle condizioni dei materiali archeologici semplicemente a vista o mediante strumenti
- Facilità di intervento.** Possibilità di procedere a riparazioni e correzioni rapidamente, anche senza l'ausilio di macchinari
- Disseminazione.** Possibilità di coinvolgere attivamente la popolazione residente nell'area del sito nelle attività di manutenzione e valorizzazione del sito;
- Autoprotezione** . Attitudine del sistema a ridurre il numero di guasti per effetto di un contenuto tecnologico eccessivo rispetto alle reali possibilità e disponibilità di personale e fondi per la manutenzione
- Affidabilità.** Capacità di mantenere sensibilmente invariata nel tempo la propria qualità in condizioni d'uso determinate e in rapporto a possibili carenze manutentive
- Continuità d'uso.** Possibilità di continuare a fruire del bene archeologico e del sistema anche durante le operazioni di manutenzione del bene o del sistema; nel primo caso si lega al requisito della disseminazione
- Rapidità dell'efficacia.** Attitudine del sistema ad entrare in servizio in modo immediato e rimuovere le condizioni nocive e di degrado

— REQUISITI DI FRUIBILITÀ

Percorribilità Attitudine del sistema a garantire l'accesso a tutte le parti del sito ritenute rilevanti per il loro contenuto educativo o simbolico mediante: a) accessibilità diretta ai reperti mediante percorsi di penetrazione (liberi o irregimentati); b) accessibilità filtrata mediante percorsi posti ad una quota diversa dal piano campagna; c) affacci da balconate e ponti sopraelevati; d) gallerie di osservazione;

Accessibilità. Idoneità del sistema a garantire l'accesso in condizioni di comfort e sicurezza a tutte le categorie di utenti, anche quelli con ridotta o impedita capacità motoria e/o sensoriale;

Segnaletica. Idoneità del sistema ad evidenziare e trasmettere in maniera comprensibile e coinvolgente i messaggi del sito e a indurre un comportamento consapevole negli utenti;

Comprensibilità. Attitudine del sistema a comunicare in modo immediato all'osservatore gli elementi e il carattere della struttura antica: percorsi, membrature architettoniche, illuminazione;

Stimolo capacità immaginativa. Idoneità del sistema a coinvolgere il visitatore e a suggerire il rapporto tra il rudere e l'ambiente originale in cui si inseriva oppure le condizioni spaziali e luminose dell'architettura antica;

Trasmissione di contenuti. Attitudine ad ospitare ricostruzioni, modelli, allestimenti, scenografie luminose o fisiche, proiezioni e animazioni relative alla ricostruzioni della vita quotidiana e delle funzioni che si svolgevano nel rudere;

Scalabilità delle informazione. Possibilità di trasmettere contenuti a diversi livelli di competenza e interesse del visitatore;

Allestibilità. Idoneità del sistema ad inserire partizioni interne regolabili per poter confinare e delimitare gli spazi interni secondo le esigenze;



Figura 5.13: La corretta fruizione passa attraverso la gestione in senso lato dell'area, non solo attraverso i pannelli esplicativi e didattici ma anche la gestione dei percorsi e delle forme utilizzate nelle strutture eventualmente utilizzate per proteggere i resti che dovrebbero aiutare a ricostruirli

— REQUISITI DI ASPETTO

Riconoscibilità. Attitudine delle forme utilizzate dal sistema ad essere riconosciute come di completamento mantenendo un distacco materico e concettuale dalla preesistenza;

Distinguibilità. Idoneità dei materiali e delle lavorazioni ad essere riconosciuti come diversi da quelli della preesistenza;

Uso appropriato dei materiali. Possibilità di utilizzare materiali tradizionali o moderni in maniera appropriata al contesto archeologico (contrasto, somiglianza, richiamo);

Forma esterna. Capacità del sistema di evocare in distanza la volumetria, la sagoma o la planimetria delle strutture antiche;

Forma interna. Capacità del sistema di evocare la distribuzione interna, gli effetti spaziali e luminosi dell'architettura antica;

Riambientamento. Attitudine del sistema a ripristinare le condizioni di fruizione originarie dell'architettura;



Figura 5.14: I nuovi inserimenti dovrebbero sempre dialogare con quanto è loro preesistente e non essere mai tanto loquaci, per quanto dotati di un buon eloquio, da sopravanzare il sito

— REQUISITI DI INTEGRABILITÀ

Flessibilità. Capacità di adattarsi alla trasformazione del contesto e delle funzioni da essa svolte e di differenziare e personalizzare la fruizione degli spazi;

Versatilità. Capacità di adattare il sistema alle diverse condizioni di conservazione del sito archeologico in termini di morfologia delle muraure superstiti e del terreno circostante il sito;

Modularità. Idoneità del sistema ad essere ottenuto dalla ripetizione di elementi simili a diverse scale dimensionali;

Uniformità. Possibilità di collegare a terra il sistema in punti variabili secondo le esigenze archeologiche;

Commisurabilità. Possibilità di utilizzare una dimensione standard basata sulla ripresa degli schemi formali e planimetrici antichi;

Puntualità degli appoggi. Attitudine del sistema strutturale ad essere semplicemente appoggiato al suolo cui trasmette solo carichi verticali;

Minimizzazione dell'appoggio. Attitudine del sistema a ridurre l'entità del collegamento con le strutture murarie esistenti;

Inserimento nel contesto. Possibilità di variare l'immagine della struttura a seconda dell'ambiente di riferimento: per il centro urbano può essere più adatta l'immagine del cantiere vivo, per una zona rurale la limitazione al massimo dell'impatto della nuova costruzione;

Variabilità nel tempo e nello spazio. Attitudine del sistema ad essere ampliato o ristretto in risposta a variazioni delle condizioni al contorno (scavo, perimetrazione del sito);

Attrezzabilità. Attitudine a ricevere un adeguato sistema impiantistico e di monitoraggio per la raccolta di dati relativi alle condizioni ambientali e di degrado con la possibilità di correggerle da remoto o comunque in modo semplice e tempestivo;

Compatibilità strutturale. Idoneità del materiale a ridurre il rapporto peso strutturale/resistenza in rapporto alla riduzione del numero di sostegni, della dimensione degli elementi strutturali, l'ampliamento della luce coperta e la riduzione delle dimensioni delle fondazioni;

Compatibilità architettonica. Idoneità del materiale e dell'effetto formale a favorire l'inserimento nel paesaggio in generale e nel contesto più limitato del sito;

Rivestibilità. Idoneità del sistema ad interfacciarsi con un rivestimento (strutturalmente collaborante o meno) che consenta di nascondere alla vista la struttura con fini estetici o per proteggerla da animali che possono trovare riparo al suo interno;



Figura 5.15: Una gestione adeguata del sito, come le visite in corso di scavo, permette di stimolare l'attenzione e la sensibilità delle comunità civiche al problema dei siti archeologici

— REQUISITI IN MERITO ALL'UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE

Rispetto dell'autenticità. Attitudine del sistema ad essere messo in opera senza alterare la consistenza fisica e materica dei ruderi;

Conservazione del contenuto culturale. Attitudine del sistema a non alterare il significato del sito e del luogo in cui è inserito;

Rispetto della concezione costruttiva. Attitudine del sistema a presentare e far comprendere la concezione strutturale originale e fornire un presidio (non una correzione) laddove essa risulti deficitaria;

Autosufficienza energetica. Attitudine del sistema ad integrare impianti di generazione energetica da fonti rinnovabili per evitare gli allacciamenti alle reti energetiche in zone disagiate;

Passività. Idoneità del sistema ad opporre alle fluttuazioni climatiche un'adeguata risposta inerziale in assenza di impianti di condizionamento;

Reperibilità. Possibilità di utilizzare elementi prefabbricati o facilmente reperibili;

Sostenibilità ambientale. Attitudine del sistema a fare uso di materiali riciclabili, con componenti riciclate oppure riutilizzabili al termine del periodo di esercizio;

Sostenibilità economica. Attitudine del sistema a limitare i costi di esercizio e di personale nel tempo;

Autoprotezione. Capacità del sistema a scoraggiare l'infestazione da parte di piante e animali in grado di compromettere le condizioni di conservazione

5.2 Problemi specifici

La trattazione di esigenze e requisiti sul sito archeologico conserva un carattere abbastanza generale. In essa tuttavia si possono rinvenire nuclei tematici singoli che richiedono un maggiore approfondimento. La tesi si concentra sullo sviluppo degli aspetti geometrico-formali-strutturali connessi al rapporto architettonico e strutturale tra preesistenza e copertura. L'approfondimento dei temi connessi al controllo climatico e alla qualità a fini conservativi dell'ambiente creato dalla copertura richiederebbe tuttavia uno spazio analogo se non maggiore di quello dedicato all'avvio dello studio sugli aspetti geometrici e formali. Pertanto ci si limita ad una rapida disamina nei prossimi paragrafi di quelli che sono i principali problemi e indicazioni in merito al corretto ambiente di conservazione dei beni culturali.

In questa sede si è ritenuto opportuno presentare anche i problemi connessi alla creazione di un sistema prefabbricato, con la particolare finalità di individuare ulteriori prescrizioni sugli aspetti formali del progetto.

5.2.1 Possibilità di impiego di sistemi prefabbricati

La prefabbricazione presenta al mercato *sistemi costruttivi* autonomamente concepiti per risolvere specifici tipi edilizie. Per *sistema* si intende un insieme strutturato di componenti capace di definire compiutamente una tipologia costruttiva, le sue caratteristiche e i relativi limiti applicativi.

In termini molto generali, significa realizzare parti costituenti l'opera edilizia prima della "fabbrica" cioè la costruzione materiale dell'opera progettata. Ne consegue che, in un edificio o opera infrastrutturale in cui si faccia uso di prefabbricati, la fabbrica non è l'unica sede della realizzazione degli elementi costruttivi.

Gli elementi prefabbricati devono rappresentare una parte sostanziale, compiuta e con

specifiche caratteristiche in funzione del ruolo svolto (statico, di comfort) e in rapporto alla definizione dello spazio architettonico. Essi inoltre devono stabilire precise correlazioni con le altre parti dell'opera siano esse prefabbricate o realizzate in opera. La loro dimensione può variare da una componente di un elemento di fabbrica (travetto di solaio), a un elemento di fabbrica di complessità variabile (pilastro, modulo-bagno), all'intera fabbrica (modulo abitativo). Tendenzialmente il componente ideale è quello che, giunto in opera, richiede solo operazioni di montaggio ma nella realtà produttiva si adottano diversi gradi completezza. L'incidenza della prefabbricazione sull'opera finita è molto variabile: al più alto grado ci sono i sistemi totalmente prefabbricati, in cui l'edificio è disaggregato e riaggregato richiedendo precisi criteri di coordinamento integrale e la definizione delle diverse capacità prestazionali viene stabilita a priori nel progetto; a livello medio, si cerca di concentrare i problemi all'interfaccia tra parti prefabbricate e non; al livello più basso, l'elemento prefabbricato contribuisce solo a sveltire la realizzazione dell'opera.

Nel prodotto prefabbricato esiste sempre una discreta tensione tra il vantaggio della disponibilità a catalogo e il desiderio di personalizzazione. Per tale motivo la prefabbricazione chiusa di tipo pesante, in uso negli anni '60-'70 per la produzione di alloggi popolari, è stata progressivamente soppiantata dalla prefabbricazione aperta che interessa solo alcuni elementi della costruzione e consente lo scambio tra sistemi simili.

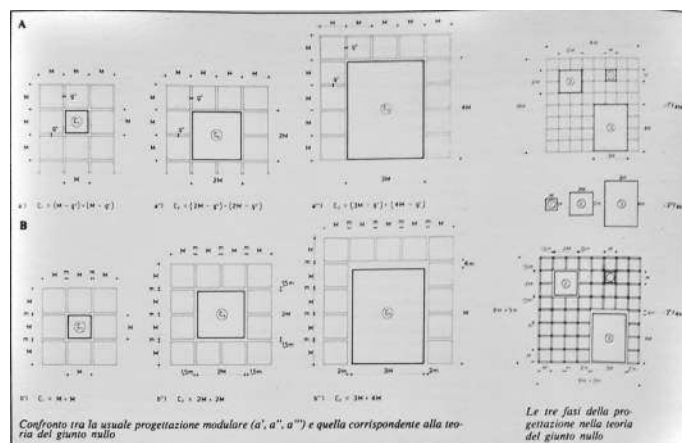


Figura 5.16: Teoria del giunto nullo. Nella progettazione modulare (serie A) gli elementi modulari vengono associati azzerando l'interfaccia, ciò comporta che gli elementi di finitura e tamponatura non possano essere modulari; al contrario considerando l'effettivo spessore del giunto (serie B) anche gli elementi di finitura seguono la modularità (da Abbate e Pagano 1980)

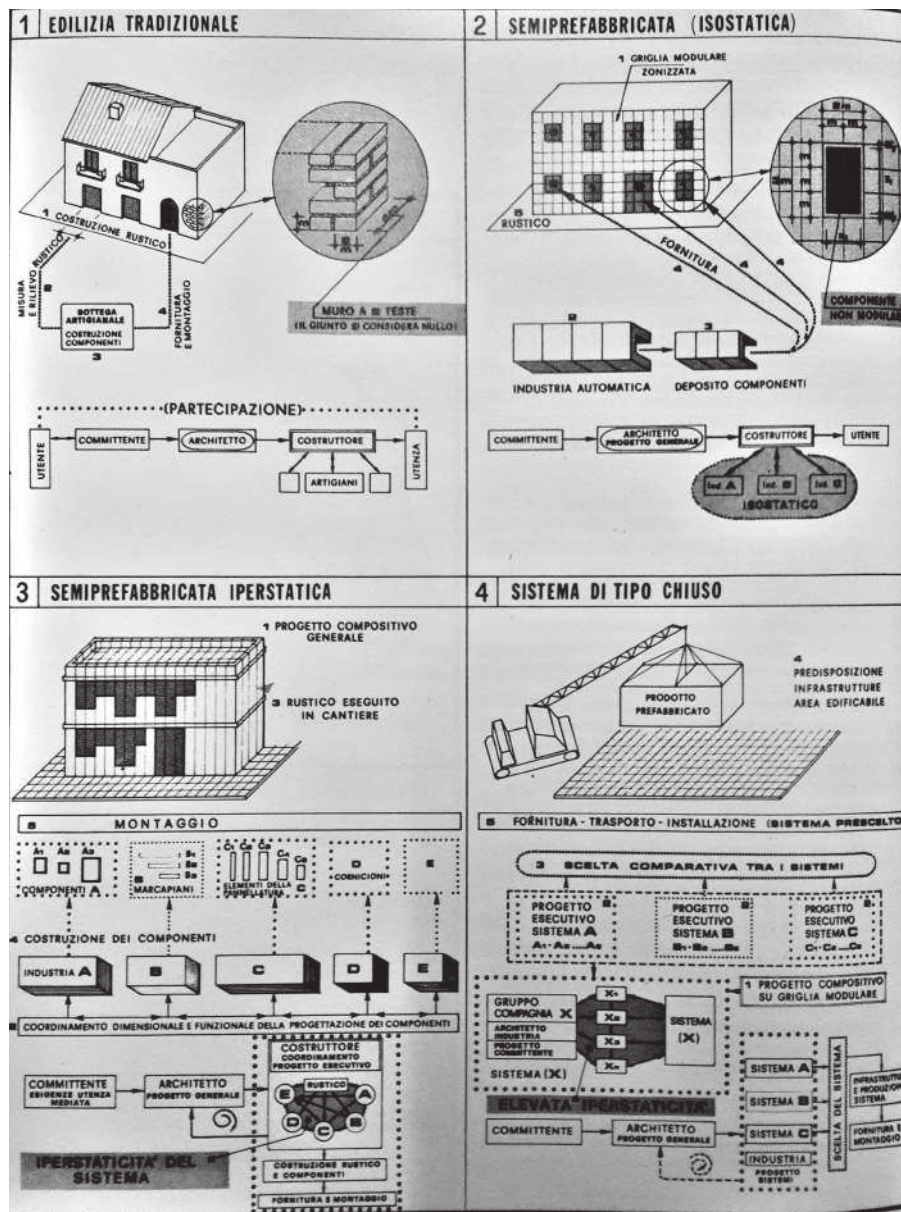


Figura 5.17: 1) Edilizia tradizionale: non esistono condizionamenti, anche se si fa uso di componenti modulari come il mattone; 2) edilizia semiprefabbricata isostatica: esiste un rapporto biunivoco (isostatico) tra rustico e componente, la zona per il componente è modulare ma quest'ultimo non può avere dimensioni modulari; 3) edilizia semiprefabbricata iperstatica: i componenti prefabbricati vengono a contatto tra loro oltre che con il rustico: il progetto non può essere completo se il costruttore non definisce il rapporto complesso (iperstatico) di coordinamento tra il rustico di sua competenza e i componenti; 4) sistema chiuso: anche il rustico è prefabbricato: l'iperstaticità riguarda l'intero edificio, sicché la committenza dà solo un'indicazione generale delle prestazioni dimensionali e funzionali dell'organismo, i componenti sono utilizzabili sono per questi sistemi e ogni edificio è una risoluzione iterativa di un sistema iperstatico di relazioni (da Pagano 1981)

Coordinazione modulare

L'organismo edilizio risulta essere costituito tanto dai componenti quanto dai giunti. I giunti rappresentano le interfacce tra i vari moduli — interfaccia di superficie, di linea o di punto — pertanto oltre a dover essere di dimensioni minori di quelli, si possono presentare sia in una forma altrettanto modulare oppure variare con continuità: la coordinazione di uno stesso modulo può variare in conseguenza della diversa configurazione del giunto. Perché una progettazione possa dirsi effettivamente modulare è necessario tenere in conto anche lo spessore reale del giunto (Fig. 5.16) e non ritenere il giunto assente e poi "vestirlo" del suo spessore reale comportando la perdita della modularità originariamente concepita (Abbate e Pagano 1980; Gianattanasio et al. 1988). Ai fini della tipizzazione e della normalizzazione degli elementi costruttivi occorre introdurre un sistema unificante delle dimensioni, il quale deve: a) contenere tutte le misure e le dimensioni della costruzione; b) contenere il minor numero di varianti e cioè di tipi diversi; c) permettere l'intercambiabilità tra i vari elementi. In questo modo ogni parte dell'edificio dovrà essere studiata in base a multipli di un'unità dimensionale prefissata all'atto di impostazione del programma e tale unità dovrà essere il massimo comune denominatore dai cui multipli derivano tutte le misure della costruzione.

Il coordinamento investe i tre momenti dell'opera edilizia industrializzata: progettazione, produzione e montaggio. Attraverso il modulo si concilia la scelta tra la funzione di proporzionamento — legata a considerazioni di carattere progettuale — e la funzione di dimensionamento per la produzione industriale — legata a considerazioni di carattere tecnico e tecnologico —. L'insieme di componenti coordinati deve possedere specifiche capacità prestazionali così da rispondere al ruolo e all'ambito dell'apparecchiatura costruttiva, alle esigenze a seconda della categoria edilizia di applicazione e al comportamento nell'uso in base alle esigenze dello spazio che concorre a costruire. Dell'insieme coordinato di componenti modulari va sperimentata l'applicabilità in diversi tipi edilizi al punto che utopicamente ciascuna di esse dovrebbe poter essere applicabile a tutti i tipi edilizi. Esso infine può essere utilizzato per lo scambio tra aziende produttrici diverse (Mandolesi 1994).

Caratteristiche delle componenti industrializzate

I principi base dell'industrializzazione sono la ripetizione e la modularità e l'unificazione possibilmente nelle tre direzioni dello spazio e in modo tale che il volume che ne risulta non abbia una precisa funzionalizzazione ma rappresenti un elemento flessibile ad ogni esigenza, quasi "spersonalizzato". Tale componente volumetrica indifferenziata ed elementare può essere tranquillamente descritta come un "mattoncino" (Pagano 1969): realizzandolo in acciaio si avrebbe l'unificazione rispetto alle sollecitazioni di trazione e compressione, il suo uso in ogni elemento strutturale e l'integrazione di tutti gli impianti (cfr. Cap. 4).

La tendenza deve essere ad una separazione tra progettazione, produzione e montaggio che permetterebbe di lavorare non più a commessa — come potrebbe avvenire per un sistema reticolare spaziale — ma a magazzino, sfruttando l'intrinseca neutralità degli oggetti prefabbricati. Le indicazioni provenienti dalla letteratura (De Nardo et al. 1979; Gianat-

tanasio et al. 1988) in merito alle caratteristiche degli elementi prefabbricati riportano pertanto:

1. Riduzione del contenuto di pre-progettazione dei componenti rispetto al contenuto di progettazione del prodotto finale;
2. Rigidezza intrinseca delle componenti;
3. Volume di trasporto e stoccaggio ridotti il più possibile rispetto al volume in esercizio;
4. Razionalizzazione delle operazioni in cantiere con operazioni semplici senza bisogno di attrezzature speciali;
5. Rapidità della produzione
6. Rapidità dell'esecuzione;
7. Eventuale integrazione impiantistica già predisposta in stabilimento così da limitarsi all'allaccio alle reti esistenti sul posto;
8. Risoluzione efficace del problema rappresentato dai giunti di copertura;
9. Controllo delle condizioni ambientali;
10. Adattamento dei punti di appoggio alle diverse condizioni del terreno e delle murature;
11. Numero contenuto di componenti del sistema;
12. Movimentazione a mano delle componenti;
13. Preassemblaggio di elementi complessi in officina e esclusivo montaggio in opera;
14. Montaggio per incastro o per bullonatura;
15. Considerare i metodi di produzione industriale nella formazione dei componenti;

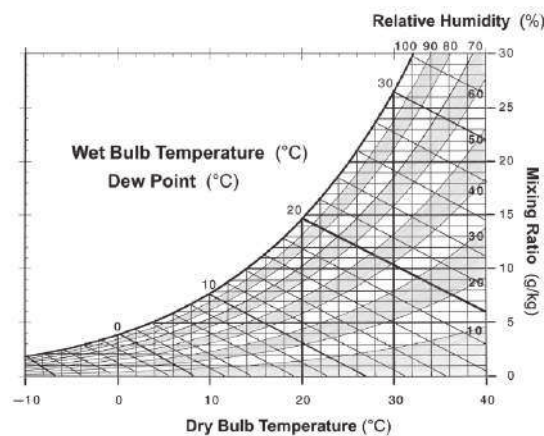


Figura 5.18: Grafico psicrometrico. Le curve rappresentano il livelli di umidità relativa, le linee diagonali le temperature di bulbo bagnato (da (Camuffo 2014))

5.2.2 Gestione climatica

Clima interno

MIBACT (2000) individua i seguenti parametri come quelli determinanti per il controllo della conservazione dei manufatti: a) temperatura dell'aria, b) temperatura superficiale, c) umidità relativa, d) illuminamento (lux), E) radianza UV (W/m^2), f) radianza totale, g) luminanza (cd/m^2), h) temperatura colore (K), i) velocità dell'aria, g) carica microbica totale nell'aria, h) concentrazione batterica, l) concentrazione fungina (unità Formanti Colonia per unità di volume, UFC/ m^3), m) concentrazione del PTS ($\mu g/m^3$), n) concentrazione PM10 ($\mu g/m^3$), o) ioni solubili nel particolato (%), p) concentrazione di composti chimici aggressivi (O_3 , O_2 , NO_2 , CO_2 , $\mu g/m^3$).

Tre sono i parametri che dominano il comportamento igrometrico di un ambiente. L'umidità relativa (RH) indica quanto il vapore nell'aria è lontano dalla saturazione cioè la percentuale rispetto alla quantità totale che l'aria alla stessa temperatura ne può contenere a saturazione. Dipende ovviamente dalla temperatura e dalla quantità di vapore presente. Il punto di rugiada (*dew point*, DP) è la temperatura alla quale la pressione di vapore nell'aria, a pressione e contenuto di vapore costanti dell'aria stessa, raggiunge la saturazione, cioè si verifica condensazione. Di fatto è una proprietà del vapore presente più che dell'aria in sé e dipende dalla temperatura dell'aria e dall'umidità relativa. La temperatura a bulbo bagnato (T_w) infine è la più bassa temperatura a cui può accadere l'evaporazione da una superficie bagnata; in genere risulta $DP \leq T_w \leq T$ con l'uguaglianza soddisfatta solo a RH=100% (Camuffo 2014). La relazione tra i tre parametri è riassunta dal cosiddetto grafico psicometrico (Fig. 5.18).

Camuffo (2014) e Aslan (1997) affermano, partendo da presupposti diversi, che i metodi migliori per preservare i materiali sono quelli permanenti e passivi quali l'isolamento termico, le schermature della radiazione diretta, l'uso di materiali con capacità termica o igrometrica elevata. Questi sistemi non corrono il rischio di malfunzionamenti e quindi di creare brusche variazioni di umidità e temperatura e non presentano l'inconveniente di determinare gradienti a partire dai punti in cui il calore e l'umidità sono immessi. La dotazione impiantistica climatica diventa allora "di emergenza" per fare fronte a quei momenti in cui le soluzioni passive non riescono ad essere efficaci. Ciò comporta anche la predisposizione di sensori per il rilevamento dei dati microclimatici (temperatura, umidità, velocità e direzione del vento) all'esterno e all'interno del sito/copertura, della qualità dell'aria, dell'intensità di pioggia e di esposizione al sole.

Aslan (1997) suggerisce, al fine di controllare la temperatura con mezzi passivi, di ricorrere alle seguenti strategie progettuali:

Raffreddamento per radiazione, che sfrutta l'irraggiamento verso il cielo notturno. Si può ottenere con una intercapedine della parete in cui viene fatta circolare l'aria calda interna dell'edificio che si raffredda a contatto con la parete esterna e viene reimpressa nell'edificio;

Riduzione della trasmissione del calore mediante materiali isolanti con bassa trasmittanza termica;

Riduzione del guadagno solare che si ottiene solitamente assicurando la presenza di superfici riflettenti, elementi ombreggianti mobili;

Ventilazione: la posizione e la dimensione delle aperture dovrebbe essere ottimizzata in rapporto alla direzione e alla velocità del vento in modo da sfruttarlo durante la notte per rinfrescare le strutture.

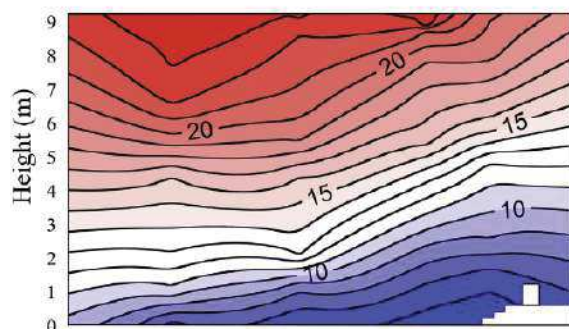


Figura 5.19: Stratificazione termica in ambiente confinato (da Camuffo 2014)

Tabella 5.1: Valori termoigrometrici consigliati per la conservazione chimico-fisica ottimale dei manufatti (da MIBACT 2000)

Manufatto	Umidità relativa %	Temperatura ° C
Avori, ossa	45-65	19-24
Bronzo	<55*	-
Marmi, pietre	45-60	≤30
Legno	40-65**	19-24
Mosaici e pitture murali	40-60	min 6 (inverno)-max 25 (estate***)

* Per bronzo con corrosione scende al 42%

** Il legno archeologico restringe l'intervallo di UR al 50-60%. Legni o materiali organici o rinvenuti in corso di scavo vanno tassativamente conservati con il 100% di UR e andrebbero refrigerati (4° C).

*** Il massimo gradiente giornaliero è di 1,5 ° C/h.

Tabella 5.2: Valori limite per le concentrazioni di inquinanti (da MIBACT 2000)

Inquinante	ppb	UNI 10586-97 µg/m ³
Biossido di zolfo	<0,4	≤10
Biossido di azoto	<2,5	≤2
Ozono	1	≤2
Particolato fine	20-30	≤50

In generale è necessario che il clima interno sia il più possibile stabile, ciò che equivale a conservarlo entro una variazione del +/- 10% delle massime escursioni registrate sul sito (cfr. *infra*). Per ottenerlo è necessario assicurare la stratificazione dell'aria interna (Fig.

5.19), in modo che sia più calda verso l'alto così da non avere moti convettivi nell'ambiente. L'ideale è che la temperatura aumenti con un gradiente di al massimo $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ e che il pavimento sia più freddo e il soffitto più caldo dell'aria. Se l'aria è stratificata, l'espulsione dell'aria esausta va fatta in basso, con l'immissione dell'aria calda in alto in modo da favorire l'espulsione delle particelle. La stratificazione termica è evitabile diminuendo la temperatura e aumentando la velocità dell'aria ma questo aumenta molto la deposizione di particelle. Al contrario è favorita dalle situazioni in cui l'inerzia termica delle pareti, del pavimento e del tetto sono tra loro simili e il pavimento è più freddo e il solaio più caldo. Le variazioni sono connesse alle variazioni di umidità relativa, che è un parametro fondamentale per la conservazione perché comporta la formazione di condensa, il richiamo di acqua con sali disciolti, l'insorgere di tensioni tra materiali con diversa porosità. In mancanza di indicazioni specifiche, vengono riportati i valori consigliati da (MIBACT 2000) dei parametri termoigrometrici per assicurare le condizioni ottimali di conservazione (Tab. 5.1). Per alcuni di essi tuttavia (indicati con gli asterischi) sono previsti limiti anche più stringenti e da garantire in modo ancora più preciso, tanto da richiedere speciali contenitori che assicurano il controllo e la stabilità dei parametri ambientali rilevanti.

Inquinanti aerodispersi

Gli inquinanti vanno intesi più genericamente come composti reattivi in grado di interagire con i materiali archeologici deteriorandoli. Alla stessa stregua vengono trattati il particolato, che determina il sudiciume sulle superfici, e tutti i microrganismi autotrofi o eterotrofi in grado di rilasciare sostanze aggressive o disgregare il supporto su cui aderiscono. Una limitazione importante va imposta soprattutto sul particolato, soprattutto dove si ha un elevato afflusso di visitatori, da controllare con appositi filtri.

In assenza di specifiche indicazioni per la conservazione dei materiali archeologici, si può trarre qualche indicazione dagli standard museali (Fig. 5.2). Non tutte le specie hanno potenzialità biodeteriogene, tuttavia la colonizzazione dei materiali avviene per concentrazioni elevate e ambienti con $\text{UR} > 65\%$ e $T > 20^{\circ}\text{C}$, oltre certi limiti la presenza di batteri può anche dare origine a problemi a carattere sanitario; la concentrazione limite di funghi è di solito raccomandata molto più bassa di quella batterica.

Illuminazione

Secondo le normative europee CEN 2013 CIE 2004, i materiali costituenti di beni culturali sono raggruppati in 4 classi di sensibilità (Tab. 5.3) all'esposizione alla luce espresse come quantità cumulativa annua (*Annual Luminous Exposure, ALE*) (l x h/a) cioè livello di illuminazione (lux) per l'esposizione oraria nell'anno (*Annual Exposure Time, AET*); il problema risiede nell'effetto di accumulo. I materiali archeologici conservati in sito (pietra, ev. ceramica) sono sostanzialmente insensibili alla luce, mentre gli affreschi si trovano in classe 2, cioè moderatamente sensibili; l'illuminamento massimo può essere superiore a 300 lux per i primi e 150 al massimo per i secondi (MIBACT 2000).

Vanno evitate le lampade ad incandescenza sia per l'effetto di surriscaldamento della superficie direttamente colpita dalla luce sia perché creano notevoli correnti convettive che favoriscono la deposizione di particelle. Per quanto riguarda la luce solare il pro-

blema risiede nell'energia contenuta nei fotoni che tende a sbiadire i colori e ad alterare i materiali, ovviamente soprattutto nelle bande dell'UV (Camuffo 2014), mentre le bande IR favoriscono il surriscaldamento. Per materiali mediamente sensibili (classe 2) e igroscopici la limitazione viene imposta sia sulla componente UV della luce (max 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$) sia sull'energia totale prodotta dai manufatti per irraggiamento sulle superfici (max 10 W/m^2) (MIBACT 2000). Le lampade comunque devono assicurare buona resa dei colori arrecando il minimo danno ai materiali esposti alla luce (Camuffo 2014). La fruizione e la conservazione dipendono anche dall'uniformità dell'illuminazione per cui il rapporto tra l'illuminamento minimo e medio deve essere superiore a 0,5 e quello tra il massimo e il minimo inferiore a 5 anche per evitare l'insorgere di tensioni tra punti a diversa temperatura dei manufatti; dal punto di vista della fruizione si cerca di evitare la produzione di ombre multiple che alterino la percezione delle forme (MIBACT 2000). Vanno controllati i tempi di accensione delle lampade (3 s), la quantità di energia termica dispersa, la frazione di raggi UV e IR emessi. Per il controllo della luce naturale vanno adottati filtri, schermature e diffusori per abbattere la componente UV e quella infrarossa.

Tabella 5.3: Condizioni di illuminamento massimo per diversi materiali costituenti di beni culturali (da MIBACT 2000)

Categoria fotosensibilità		Illuminamento massimo (lux)
1 molto bassa	Reperti e manufatti relativamente insensibili alla luce: metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, reperti fossili	>300*
2 media	Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce: pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi, materiali organici non compresi nei gruppi 3 e 4 quali quelli in corno, osso, avorio, legno	150
3 alta	Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce: tessuti e tappezzerie; acquerelli, pastelli, stampe, libri, cuoio tinto; pitture e tempere non verniciate, pittura a guazzo, disegni a pennarello	50
4 molto alta	Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce: mummie; sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche, ecc.	50

* Vanno limitati gli effetti termici in particolare su stucchi, smalti vetrate e fossili

5.3 Proposta di linee guida

Linee guida efficaci per la progettazione di coperture devono poter dare risposta a tutte le istanze (conservativa, fruitiva, ambientale, archeologica, di sostenibilità economica a lungo termine) in precedenza individuate come condizionanti. In letteratura già esistono proposte di questo tipo (Laurenti 2006; Sposito 2004, 2005) ma il loro indirizzo, se si vuole, è ancora troppo generico per poter avere una effettiva ricaduta nella pratica della

disciplina. Pertanto in questa sezione si cerca di individuare entrambi gli aspetti: le indicazioni a carattere generale e prescrizioni più specifiche individuate anche con l'aiuto di esempi.

5.3.1 Prescrizioni generali

- Protezione da accessi incontrollati
 - Presenza di barriere che impediscano l'accesso ai vandali;
 - Presenza di barriere che regolino o impediscano l'accesso alle zone più fragili del sito;
 - Presenza di barriere che impediscano l'accesso di animali;
 - Predisposizione di percorsi in sicurezza da zone pericolose del rudere;
 - Protezione delle aree più fragili o più esposte ad usura dal contatto diretto
- Drenaggio
 - Predisposizione di un sistema di raccolta e smaltimento dell'acqua superficiale al contorno del sito
 - Sistemazione del terreno attorno allo scavo
 - Riattivazione del sistema di drenaggio antico
 - Raccolta e smaltimento dell'acqua proveniente dalla protezione
- Protezione dall'azione diretta delle precipitazioni
 - Pendenze adeguate e corrette delle coperture
 - Efficienza e manutenibilità dei condotti
 - Sporto di gronda adeguato
 - Raccolta e smaltimento senza dispersioni
 - Pannellature laterali
- Protezione dai movimenti del terreno
 - Sistemazione delle creste e dei bordi di scavo
 - Predisposizione di murature di contenimento sui fronti più deboli
 - Predisposizione di sistemi di drenaggio per prevenire l'infiltrazione di acqua negli strati profondi
 - Eliminazione della spinte del terreno tramite opere di contenimento
- Protezione dal sisma
 - Inserimento di tiranti
 - Realizzazione di contrafforti e speroni
 - Predisposizione di sistemi di drenaggio per prevenire l'infiltrazione di acqua negli strati profondi
 - Eliminazione della spinte del terreno tramite opere di contenimento

- Controllo della temperatura interna
 - Manto di copertura opaco
 - Superfici esterne chiare e riflettenti il calore
 - Isolamento e inerzia termica delle strutture adeguate
 - Impianti di climatizzazione di emergenza
 - Funzionamento energetico di tipo passivo
 - Chiusure perimetrali opache
 - Sporto di gronda
- Illuminazione
 - Assenza di grandi superfici vetrate
 - Assenza di pareti laterali completamente aperte o esposte
 - Orientamento delle parti trasparenti tale da evitarne l'irraggiamento diretto
 - Orientamento delle falde e delle aperture razionale rispetto ai venti, alla pioggia, al sole
 - Uso della luce naturale diffusa
 - Parti trasparenti dotate di filtri ai raggi UV e schermatura agli IR
 - Elementi oscuranti operabili automaticamente e/o manualmente
 - Minimizzazione degli impianti
- Ventilazione
 - Ricambio d'aria continuo
 - Riduzione della velocità dell'aria per diminuire la deposizione di particelle
 - Posizionamento delle aperture in rapporto ai venti dominanti
 - Utilizzo del vento per finalità di raffrescamento
 - Uso di elementi apribili operabili manualmente e/o automaticamente nelle partizioni verticali perimetrali (lamelle, frangisole)
- Controllo degli inquinanti interni
 - Presenza di sensori e rilevatori
 - Impianto di condizionamento di emergenza
 - Filtri in corrispondenza delle aperture
- Controllo della fauna e della flora infestanti
 - Reti e grate in corrispondenza di aperture e sfiati
 - Rivestimento delle strutture esposte all'esterno
 - Creazione di un ambiente che sfavorisca la proliferazione di agenti infestanti
- Cantierizzazione
 - Montaggio a secco
 - Montaggio a mano, senza l'ausilio di macchinari grandi

- Trasportabilità a mano (peso massimo 25 kg, lunghezza massima 2 m)
 - Materiali sperimentati e collaudati
 - Rapidità e facilità di montaggio
- Realizzazione
- Uso di materiali leggeri: alluminio, polimeri fibrorinforzati, legno
 - Contenimento del numero e dimensione degli elementi strutturali
 - Cerniere al piede
 - Carichi in fondazione prevalentemente verticali
 - Serialità degli elementi strutturali
 - Rivestimenti resi collaboranti dal punto di vista strutturale
 - Possibilità di regolare l'altezza dei sostegni
 - Possibilità di regolare in orizzontale la posizione dei sostegni
 - Indifferenza al posizionamento dei sostegni rispetto alla maglia strutturale
- Gestione
- Uso di sistemi passivi per il controllo climatico
 - Utilizzo di impianti nascosti e a basso contenuto tecnologico
 - Materiali del vernacolo locale
 - Materiali moderni solo se ampiamente sperimentali sul sito archeologico
 - Presenza di percorsi di servizio per la manutenzione
 - Manutenzione non onerosa (in termini di tempo, complessità e costo)
 - No tegole (forte impatto visivo, molta manutenzione) meglio manti continui tipo zinco-titanio o corten
- Rimozione
- Strutture in appoggio
 - Materiali che non sono soggetti a corrosione
- Integrazione
- Copertura coordinata con le partizioni perimetrali verticali
 - Materiali che non sono soggetti a corrosione
- Forma
- Corrispondenza ai ritmi architettonici antichi
 - Assonanza di materiali/diversità di forma
 - Dissonanza di materiali/similarità di forma
 - Estetica tecnica o comunque da cantiere, che trasmetta l'idea di qualcosa di vivo e in trasformazione
 - Corrispondenza volumetrica/planimetrica esterna con la struttura antica
 - Uso di manti continui in copertura

- Uso di materiali avvolgenti e “caldi”
 - Uso di materiali che suggeriscono la temporaneità e la provvisorietà (teli, legno)
- Contestualizzazione
- Uso di un modulo simile a quello antico
 - Uso di forme semplici
 - Uso di materiali, finiture e soluzioni architettoniche otticamente leggere e trasparenti
- Fruizione
- Passerelle e partizioni che riproducano gli andamenti dell’architettura antica
 - Pannelli e modellini che aiutino a visualizzare e a ricostruire il sito
 - Passerelle e percorsi accessibili anche ai disabili
 - Segnaletica e cartellonistica adeguata e completa
 - Partizioni interne sospese alla copertura

5.3.2 Note esplicative

La protezione del sito riguarda la messa in sicurezza dagli agenti che possono provocare danni diretti e fisici al sito archeologico: erosioni, crolli, danneggiamenti, usura, asportazioni di parti, franamenti e allagamenti, sbiadimento e surriscaldamento. Gran parte di tali fenomeni sono da attribuirsi alla presenza di acqua: quella intercettata dal sito e dalle strutture di protezione e quella che circola libera attorno al sito. Per la prima è necessario che la copertura presenti almeno uno sporto abbastanza pronunciato. Qualora non vi sia, è previsto il confinamento laterale, assicurandosi inoltre che il sistema di raccolta sul tetto sia adeguato e venga mantenuto funzionante e che l’acqua raccolta non si disperda semplicemente al suolo, ma che sia recapitata alla fognatura bianca. La sistemazione di contorno del sito prevede la realizzazione di una rete di drenaggio apposita o, ancora meglio, la riattivazione delle infrastrutture antiche così che possa dirsi recuperato anche il senso. Pedeli e Pulga (2002) indicano in 1 m lo sporto di gronda minimo per assicurare una adeguata protezione laterale (Fig. 5.20).

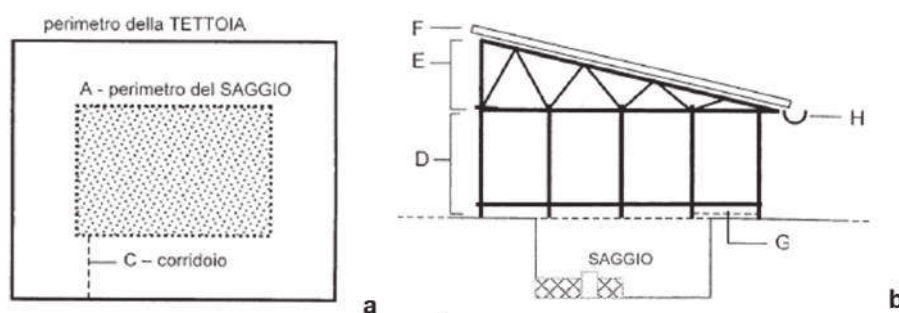


Figura 5.20: Schema di una tettoia di protezione dello scavo archeologico: a) (da Pedeli e Pulga 2002)

L'irreggimentazione dell'acqua conduce anche alla soluzione di eventuali problemi di natura geotecnica (stabilità di pendii e fronti di scavo) cui si può fare fronte adottando murature di contenimento o opere di difesa del suolo apposite. La protezione dall'azione antropica, la quale ultima si esplica tipicamente in usura e vandalismo, può essere risolta con un'adeguata gestione degli accessi e dei percorsi e con la sensibilizzazione del pubblico verso l'importanza del sito nei suoi confronti e del suo comportamento nei confronti del sito. Gli stessi percorsi che limitano l'accesso dei visitatori dovrebbero poter aiutare chi fa manutenzione ad accedere alle zone più fragili o alle parti di più assidua manutenzione. Anche nella gestione del percorso è importante trovare un equilibrio tra l'istanza fruitiva e conservativa: proibire del tutto l'accesso genera sempre una certa insoddisfazione e non è sufficiente ad impedire a qualcuno di scavalcare la barriera, poter calpestare i pavimenti originali trasmette invece la sensazione di trovarsi effettivamente dentro l'ambiente antico (Michaelides e Guimier-Sorbets 2017) e quindi di potersi confrontare più direttamente con quel mondo. Bisogna quindi poter scegliere tra passerelle, con calpestio trasparente o meno, sospese o in appoggio al pavimento (Fig. 5.21).

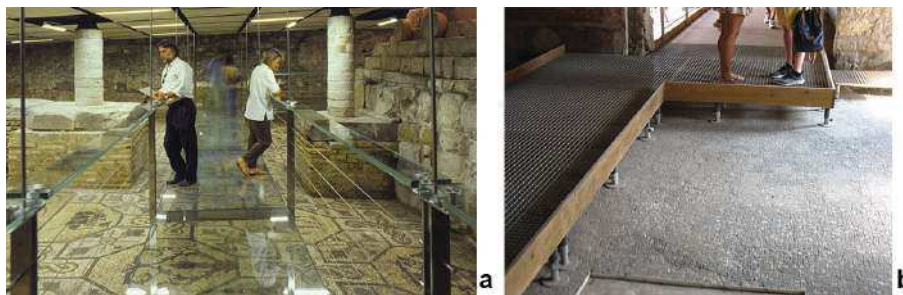


Figura 5.21: Passerelle per la fruizione del bene archeologico: a) trasparenti sospese ad Aquileia (da [51]); b) in grigliato e in appoggio su piedini a Pompei

La protezione sismica di solito è un tema affrontato in modo secondario, poiché si dice che il rudere di solito è in equilibrio con i fenomeni ambientali e quindi come tale è stato "collaudato" dal sisma (D'Agostino e Melucco Vaccaro 1996), anche se la condizione di sicurezza va sempre valutata. La struttura archeologica di una certa estensione verticale appena emersa dallo scavo tende invece ad essere più esposta a questo tipo di azione. Le condizioni di conservazione adeguate, il cosiddetto benessere della materia, rappresentano l'obiettivo primo da perseguire nella realizzazione di una struttura di protezione. Forse le condizioni ottimali sono raggiungibili solo mediante strutture completamente confinate, sigillate e climatizzate: anche così tuttavia il successo dell'operazione è subordinato all'avere un terreno asciutto, poiché si tratterebbe sempre di un "coperchio" con il fondo aperto, e se il contenitore non isola eccessivamente la rovina dal contesto e da sé stessa (cfr. Parr. 4.2.4, 4.2.6). Una simile strategia si pone al vertice degli interventi di valorizzazione poiché ottiene a tutti gli effetti un museo sul sito ma richiede risorse finanziarie e gestionali non sempre disponibili. Poiché una buona conservazione si raggiunge in rapporto a condizioni ambientali sostanzialmente costanti, nel caso in cui l'intervento non disponga di tale supporto a lungo termine, la scelta più opportuna è quella delle costruzioni passive dal punto di vista energetico, quelle che sono in grado di opporre la propria inerzia termica e sfruttare le

condizioni ambientali per limitare le fluttuazioni termiche e di umidità al di sotto dello spazio coperto. Per tale motivo è importante gestire l'orientamento, la distribuzione e il grado di utilizzo delle aperture così da sfruttare i venti dominanti, favorire la ventilazione naturale, favorire la naturale dispersione del calore, limitare il guadagno solare e l'effetto serra; anche l'uso di colori esterni chiari e di materiali riflettenti oltre che caratterizzati da una certa massa termica permette di ridurre l'aumento di temperatura interna. I parametri ambientali ottimali (temperatura, velocità dell'aria,) devono comunque essere regolati in rapporto all'umidità in risalita dal terreno in modo da limitare l'affioramento e la deposizione di sali a seguito di cicli di condensazione-evaporazione. Utilizzando adeguatamente tali sistemi si può immaginare l'entrata in servizio di impianti solo in condizioni "di emergenza" quando cioè i valori di determinati parametri superano il limite di accettabilità, ad esempio la presenza di inquinanti apportati da un notevole afflusso di visitatori)¹. Ad ogni modo varrebbe la pena di munire le aperture di filtri in grado di abbattere almeno la carica di polvere trasportata dal vento, spesso veicolo di sostanze reagenti. I listelli di legno a fuga larga (Fig. 5.22) offrono in genere adeguate condizioni di confinamento rispettando il requisito di ventilazione e pulizia formale. La normativa consensuale (EN 15757:10) indica come soluzione per la conservazione il mantenimento delle condizioni ambientali entro la fascia del 7% dal massimo e dal minimo dalla media giornaliera del valore del parametro in modo da mantenere l'oggetto nelle condizioni rispetto alle quali si è acclimatato nella sua esistenza prima dell'avvento del riscaldamento (Camuffo 2014).

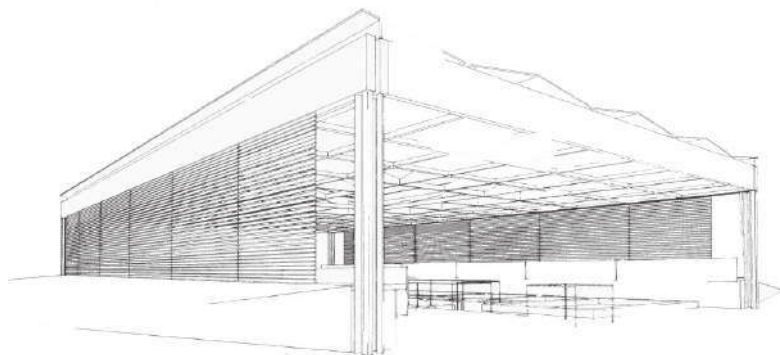


Figura 5.22: Vista di progetto delle coperture adottate sul sito archeologico di Fregellae (FR) caratterizzate dall'uso del legno lamellare per la copertura, pilastri in acciaio e frangisole in legno per la struttura verticale (da Amendolea et al. 1995)

La fruizione del sito archeologico comporta una serie di interazioni tra il visitatore e i manufatti presenti nell'area di interesse che riguardano anche la sfera della percezione visiva ed estetica. La prima necessità in questo ambito è che tali manufatti non rimangano un panorama di mute rovine che suscitano piuttosto sconcerto e disorientamento che partecipazione e interesse. La capacità di trasmettere contenuti è particolarmente importante in area urbana, dove il sito deve essere messo in grado di partecipare alla

¹Il limite per gli inquinanti nei musei (NO₂, SO₂, O₃ e il particolato fine PM_{2,5}) non dovrebbe superare 0,1 µg/m³ (Bernardi 2008).

vita contemporanea della città, arricchendone lo spazio, senza costituire un ostacolo, una cesura o, ancora peggio, un fazzoletto di terreno dimenticato o, nel peggiore dei casi, una pattumiera (Ricci 1999, 2002; Taccogni 1999).

Un ruolo importante è rivestito dall'illuminazione naturale e artificiale, la quale oltre a partecipare alla definizione delle condizioni ambientali, serve in generale per "vedere" ma più nello specifico per "rivelare" ed "evidenziare" provvedendo ad ambientare cioè a ricostruire gli effetti che poteva dare l'architettura antica. Segue poi tutta la questione illuminotecnica connessa alla minimizzazione degli impianti, al controllo delle emissioni di calore e radiazioni nocive (IR, UV) da parte delle lampade, alla qualità e alla resa della luce emessa in rapporto ai materiali e al percorso di visita.

I tre ambiti di gestione, integrazione e sostenibilità possono ricevere una trattazione unitaria poiché si tratta pur sempre di prescrizioni sul processo che porta all'ideazione e alla realizzazione pratica del sistema.



Figura 5.23: Vista interna della basilica della Villa del Casale nella recente veste museale che ha sostituito l'intervento di Minissi degli anni '50

La protezione del sito archeologico è pensabile per essere temporanea o, per meglio dire, "provvisoriamente permanente", caratterizzata cioè in una vita nominale media di circa 20 anni, trascorsi i quali è legittimo attendersi un aggiornamento tecnologico o formale, in funzione ad esempio di nuovi studi condotti su sito². In ragione di ciò e dei requisiti di reversibilità, riduzione dell'impatto sugli strati archeologici, possibilità di ampliamento secondo le esigenze di scavo, risultano più adeguate le strutture di carpenteria o di tipo prefabbricato. La scelta deve poter ricadere su produzioni industriali di larga scala e a basso contenuto di specializzazione, così da limitare i costi di acquisto e garantire la disponibilità di pezzi di ricambio o nuovi anche su tempi relativamente lunghi. Le dimensioni degli elementi dovrebbero corrispondere alla modularità in uso nelle strutture antiche affinché sia più facile riprendere gli allineamenti murari e i ritmi

²La più durevole delle coperture ideate da Minissi, quella per la Villa del Casale, è durata circa cinquant'anni.

usati nella preesistenza, tuttavia dovrebbe essere sempre riconosciuta la possibilità di negare la maglia per poter collocare i pilastri più liberamente, anche non in asse ai muri. L'accessibilità dei nodi e dei giunti e la possibilità di ispezionare facilmente le parti tecnologiche e funzionali permette di facilitare la manutenzione della struttura, anche in assenza di manodopera specializzata o di personale adeguatamente formato, eventualmente sostituita dagli abitanti del sito che potrebbero prenderlo in carico quando venisse a mancare il sostegno finanziario dell'ente pubblico (Fig. 5.23).

La non rinnovabilità del patrimonio archeologico è attribuibile al fatto che il suo ruolo culturale e sociale risiede in gran parte nell'autenticità di significato, di luogo e soprattutto di materiale: la perdita di quest'ultimo, compromette ogni altro valore perché l'oggetto diventa un falso. La realizzazione di una protezione, la reintegrazione di eventuali lacune a fini comunicativi su un sito archeologico presuppone pertanto che sia ridotta al minimo l'alterazione dei materiali e della stratigrafia archeologici, che quanto si aggiunge sia eliminabile in futuro e quanto si toglie sia ridotto al minimo. La leggerezza dei materiali nuovi, le buone proprietà meccaniche sono un criterio di scelta importante perché consentono di ridurre la dimensione delle membrature e il numero di sostegni, contenere l'impatto delle fondazioni. Queste ultime devono essere alternativamente completamente superficiali, in appoggio al terreno archeologico, o profonde, in modo da attraversare puntualmente la stratigrafia rilevante e raggiungere il terreno vergine sottostante. Il sistema strutturale infine deve poter assorbire variazioni degli elementi portanti in direzione verticale (morfologia del terreno e delle murature archeologiche) e orizzontale (posizionamento esterno o interno al sito o agli ambienti archeologici).

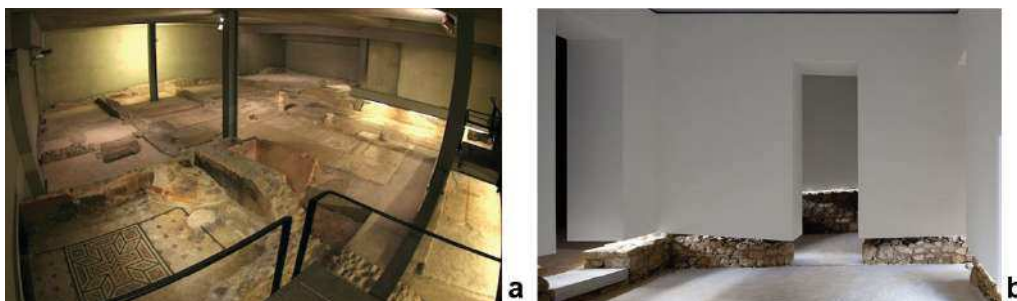


Figura 5.24: Differenti atteggiamenti nel confronto con il sito archeologico: a) la *domus* romana di piazza Nogara a Verona nella sistemazione di Carlo Scarpa (da [52]); b) l'area archeologica della Praça Nova con l'intervento di Carrilho de Graça (da [30])

5.3.3 Gli elementi di progetto

La comunicazione del messaggio culturale — significato, contenuto didattico, storia, funzione del luogo, ecc. — può avvenire su diversi piani e con diverse modalità (Bartolone 2013). La forma e la consistenza materica del riparo hanno impatto immediato sull'osservatore nella loro capacità di suggerire (o meno) i volumi, le planimetrie, la sagoma, la distribuzione interna ed esterna delle strutture antiche. Dopo una fase in cui il ritrovamento archeologico veniva "conservato", cioè bloccato nella sua materialità fisica, e fruito così com'era, attualmente si preferisce dare un completamento all'immagine, reintegrando con intelligenza le lacune e suggerendo gli elementi mancanti (Fig. 5.24).

La base di partenza è sempre il lacerto archeologico archeologico. Di esso vanno individuate la consistenza materiale (edificio isolato, agglomerato, struttura a sviluppo lineare), la funzione architettonica originale (tempio, città, fortificazione, infrastruttura) e quindi la sua corrispondenza ad un archetipo architettonico (casa, recinto, barriera). Solo dopo aver individuato l'ambiente di pertinenza del lacerto (urbano o extraurbano e quindi rurale, costiero o boschivo) è possibile stabilirne la funzione dopo l'intervento (giardino con ruderi, parco archeologico, museo, ecc. Fig. 5.25a).

Quanto si aggiunge sul sito con l'intervento (Fig. 5.25b) deve rapportarsi con l'archetipo architettonico (rilevato, elemento lineare, involucro o copertura) del rudere e suo proprio e deve poter fornire un servizio all'area archeologica stessa (didattica, supporto allo scavo o alla visita). Gli elementi variamente combinabili nel progetto sono relativi al percorso (passerella, tracciato, piastra), all'osservazione (piattaforma, pozzo stratigrafico) e infine al riparo (tettoia, copertura).

È possibile procedere sottolineando l'assenza, se mancano le tracce fisiche o quando non ci siano le condizioni per riportare alla luce le strutture archeologiche, quindi si usano altri stimoli indotti durante la visita; oppure interpretando per restituire il senso dell'integrità figurativa del manufatto quando questo è un rudere; oppure recuperando la materia e i limiti delle strutture smembrate; infine differenziando e lavorando sui percorsi e sulle relazioni visive e spaziali interne e tra interno ed esterno dell'antico edificio (materiali, appoggi, permeabilità di visuale, dilatazioni e restringimenti) (Bartolone 2013).

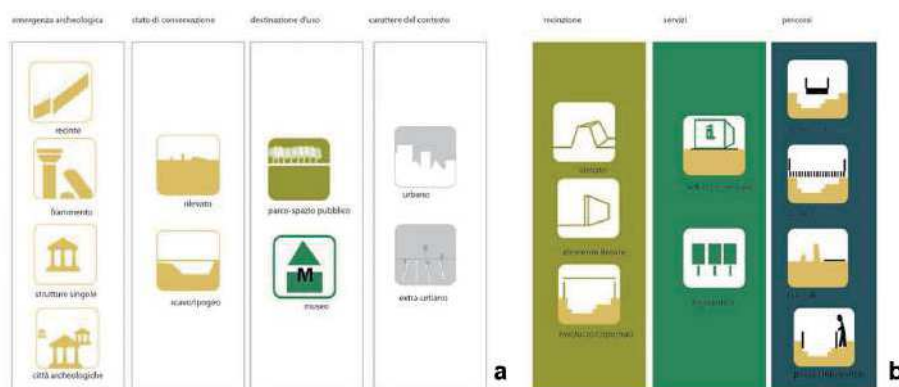


Figura 5.25: Basi del progetto: a) elementi del sito archeologico; b) elementi dell'intervento (da Bartolone 2013)

5.4 Osservazioni finali

Il capitolo cerca di reagire in modo propositivo alla lunga lista di difficoltà e problemi emersi nel capitolo precedente in rapporto alla valutazione dell'efficacia degli interventi sui siti archeologici. Di fronte ai molti temi aperti e alle molteplici sfaccettature di ciascuno di essi si è fatto ricorso all'approccio progettuale secondo il paradigma esigenziale-prestazionale. Ciò consente di ragionare in termini di qualità, cioè di raggiungimento di obiettivi prestabiliti in base ad un'analisi preliminare a carattere tecnico.

Sono state espresse le esigenze, a partire dalle indicazioni provenienti dalla letteratura, organizzandole secondo i casi previsti dalla normativa di settore e da queste si sono

ricavati i requisiti. Questi, che traducono le esigenze in termini tecnici, sono alla base delle prescrizioni espresse nelle linee guida che chiudono il capitolo.

Allo studio di carattere generale si accodano due approfondimenti riguardanti rispettivamente la prefabbricazione e la gestione climatica del bene culturale. La prima serve per individuare ulteriori indicazioni di progetto in rapporto alla volontà di concepire un sistema costruttivo potenzialmente prefabbricato o comunque largamente disponibile e applicabile senza troppe variazioni. La seconda invece rappresenta solo un cenno ad una materia la cui complessità ne esclude la trattazione in questa sede ma la cui importanza è tale da non poter essere trascurata. In effetti, le scelte architettoniche hanno riflesso anche sul comportamento fisico-tecnico dell'edificio quindi è necessario che esse siano indirizzate appositamente e che quelle corrette vengano integrate fin dall'inizio nel progetto.

La proposta di linee guida per il progetto, a carattere prescrittivo e generale, si completa di indicazioni più puntuali con il sostegno di esempi. Infine vengono descritti, da un punto di vista più strettamente architettonico, gli elementi che ispirano e compongono il progetto nonché le strategie progettuali applicabili all'intervento con l'obiettivo di comunicare il significato culturale.

Da queste premesse, il problema della progettazione di un intervento archeologico risulta analogo alla risoluzione di un sistema strutturale iperstatico, cioè una situazione in cui i vincoli sono troppo numerosi rispetto ai gradi di libertà del sistema. La soluzione può venire risolvendo sottosistemi in cui i vincoli corrispondano ai gradi di libertà oppure risolvendo il problema completo in modo iterativo e con un certo grado di approssimazione.

Nei prossimi capitoli si cercherà di fornire questo secondo tipo di soluzione — ben sapendo che il livello di approssimazione raggiunto può essere continuamente migliorato — sfruttando l'imposizione di condizioni al contorno, cioè limitando l'ambito di studio, e ricercando la soluzione più che altro verso gli aspetti formali e tecnologici.

Capitolo 6

Sistemi e materiali per strutture modulari e componibili. Valutazione dell'applicabilità in ambito archeologico

La conoscenza dei rischi corsi dai materiali archeologici e dai problemi figurativi e conservativi generati dalla copertura permettono ora di valutare con cognizione di causa le soluzioni costruttive già in essere.

Per comodità di analisi, si procede disaggregando il sistema di copertura nei suoi costituenti, procedendo dal basso verso l'alto.

La valutazione critica delle soluzioni esistenti permetterà di individuare quelle più adatte e pertanto meritevoli di ricevere un particolare approfondimento dal punto di vista statico e strutturale.

Scartando a priori l'uso di materiali tradizionali, vengono analizzate le caratteristiche di un materiale innovativo, già selezionato in rapporto ai requisiti individuati al Cap. 5.

6.1 Fondazioni

Le fondazioni sono forse l'aspetto più complesso da gestire in riguardo alla progettazione dell'intervento sul sito archeologico poiché in esse si incrociano il rispetto della stratigrafia archeologica, la struttura verticale soprastante, l'impatto visivo, la gestione dell'acqua piovana.

Le soluzioni esistenti sono in grado di far rispettare solo alcuni di questi indirizzi contemporaneamente.

6.1.1 Fondazioni superficiali e in appoggio

Tra le soluzioni tradizionali, le fondazioni superficiali dirette, quali plinti o travi rovesce, sono la soluzione più critica perché vanno ad intaccare la stratigrafia messa in luce

inserendovi una nuova fase moderna (Fig. 6.1). Un compromesso, rinvenibile peraltro in molti esempi, è rappresentato dal posizionamento di questo tipo di strutture ad una certa distanza dal sito, laddove il terreno risulta “vergine”: al di là del fatto che ciò è possibile solo se lo scavo è isolato, l’aumento della luce da superare comporta un aumento delle sezioni strutturali, comprese quelle delle stesse fondazioni (Laurenti 2006) (Fig. 6.2a). Minimo impatto sulla stratigrafia, anche se dal punto di vista estetico e conservativo è una scelta certamente discutibile, hanno i plinti in appoggio superficiali, ottenuti da taniche e pozzetti colmati da un getto di calcestruzzo annegando preventivamente il ritto di sostegno o un elemento di collegamento (Agnew et al. 1996). In questo caso è sufficiente evitare il ristagno di acqua nei pressi del plinto o lo scalzamento della base; la soluzione non è ovviamente indicata per l’appoggio diretto sulle pavimentazioni archeologiche (Fig. 6.2c). Non si rinviene sul sito archeologico l’impiego dei plinti prefabbricati in calcestruzzo, del tipo a “bicchiere” usati in genere per le strutture prefabbricate.

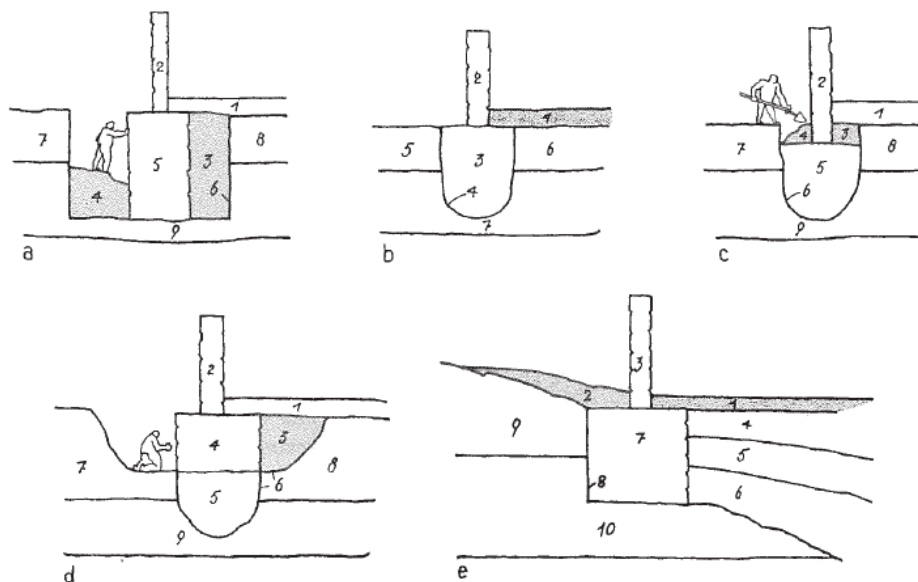


Figura 6.1: Complessità della stratigrafia archeologica nei pressi di una fondazione: a) a vista; b) a sacco; c) a sacco con piccole fosse di fondazione; d) a sacco e a vista sovrapposti; e) a sacco o a fossa stretta su un lato e a vista sull’altro (da Carandini 2010)



Figura 6.2: Esempi di sistemi di fondazione in opera su siti archeologici: a) plinti superficiali (Claterna, Bologna); b) micropali (area archeologica del Colombarone, Pesaro); c) plinti in appoggio (villa dei Papiri, Ercolano)

Una scelta innovativa per le fondazioni superficiali è stata adottata nel sito dell'antica Bibracte (Fig. 4.29), dove il progettista (Flourest 2012) ha utilizzato per fornire massa stabilizzante alla tensostruttura gabbioni riempiti di pietrame, di quelli comunemente usati nelle opere geotecniche, reinterpretati per un corretto inserimento nel sito. Per le fondazioni profonde una buona soluzione è offerta dai pali avvitati in acciaio, privi di getto di completamento in cls e, a detta dei loro produttori, rimovibili per estrazione così come sono stati infissi (Geopal 2016).

Si tratta di elementi in maglia metallica riempiti di pietrame a secco costipato, comunemente utilizzati per la formazione di muri di contenimento, sponde fluviali e addirittura letti di canali. Sono particolarmente apprezzati per la facilità di formazione sul posto, il basso costo, l'elevata permeabilità che li mette al riparo dall'accumulo di pressione idrostatica a tergo, la facilità con cui possono essere rinaturalizzati e la buona integrazione col paesaggio. La loro invenzione viene ascritta a tecniche di difesa militare, i primi studi sul comportamento meccanico datano alla fine degli anni Settanta (Bizzarri et al. 1979, Sublette 1979) ma la diffusione anche in ambito privato per la realizzazione di fioriere, vasche e altri elementi di arredo del giardino è recentissima (Fig. 6.3). Un importante produttore italiano sono le Officine Maccaferri di Bologna¹.

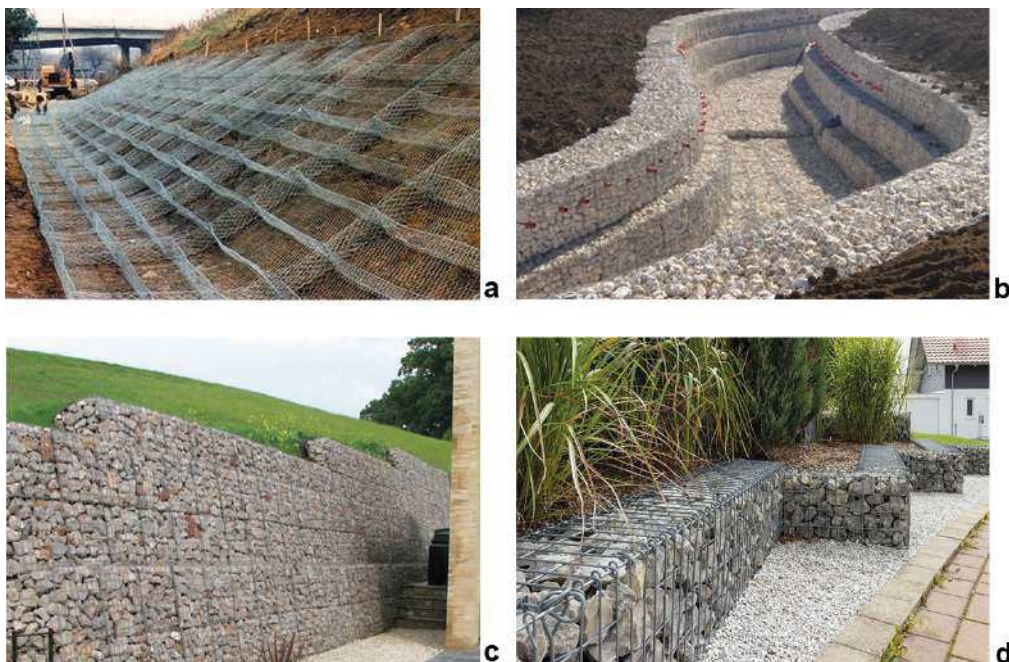


Figura 6.3: Esempi di uso dei gabbioni: a) materassi drenanti per la formazione di scarpate; b) arginature; c) murature di contenimento; d) fioriere e impieghi in ambito domestico

Nella prima concezione e nelle applicazioni geotecniche correnti la gabbia di confinamento, di forma parallelepipedica, è costituita dalla rete ritorta a maglie esagonali in filo di acciaio zincato, tuttavia, come è facile immaginare, l'effetto di confinamento per sollecitazioni

¹Si rimanda a [53] per il catalogo prodotti.

statiche assiali ottenibile in questo caso è limitato, perché si richiede una deformazione iniziale per poter mobilizzare la resistenza a trazione della rete (Lambert 2007, Fig. 6.4).

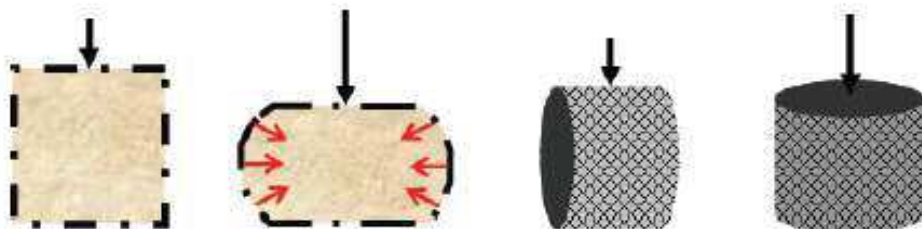


Figura 6.4: Deformazioni di mezzi granulari contenuti in maglia metallica sottoposti a carico verticale (Lambert 2007)



Figura 6.5: Deformate al collasso per a) gabbioni in rete metallica privi di confinamento e controventi interni (da Lambert 2007); b) gabbioni con barre d'armatura a rinforzo degli angoli (da Al Helo et al. 2016)

Per poter migliorare il comportamento deformativo è necessario ricorrere a gabbioni di forma cilindrica, in cui l'involucro di rete risponde subito alla deformazione assiale, oppure, volendo conservare la forma cubica, utilizzare elementi metallici di maggiore consistenza, quali barre d'armatura o rete zincata a maglie quadre provvedendo poi ad inserire opportuni collegamenti interni che limitino la deformazione; in queste condizioni il collasso viene raggiunto anche per instabilità delle barre di rinforzo (Al Helo et al. 2016, Lambert 2007; Fig. 6.5)².

Il confezionamento dei gabbioni, sia di tipo tradizionale che innovativo, avviene assemblando in opera i pannelli di rete metallica che possono arrivare in sito sciolti oppure già ritagliati secondo lo schema a "scatola aperta", provvedendo a collegarli mediante filo metallico o saldature. Una volta montata le reti è possibile distribuire le pietre a mano, tipicamente avendo cura di porre le pietre più piccole al centro, oppure in modo meccanico; in questo caso tuttavia è richiesta la vibratura a macchina per poter ottenere un migliore costipamento (Fig. 6.6). Le pietre sono spezzato di cava o ciottoli di fiume di dimensioni comprese tra 20 mm e i 2/3 dello spessore del gabbione. La macroporosità che si ottiene con questi sistemi si attesta in genere al 30-40%, cioè un 60-70% del peso delle

²I gabbioni in rete metallica elettrosaldata sono un sistema costruttivo commercializzato come Supergabion dalla SIRIVE di Vicenza [54].

pietre originali (Samayoa et al. 2018).

Dal punto di vista della durabilità, i gabbioni sia quelli a rete a maglia esagonale sia quelli con la rete rigida a maglie rettangolari presentano la zincatura di rivestimento che, nel caso di ambienti particolarmente aggressivi, può essere ulteriormente rivestita da un film polimerico. I cataloghi dei principali produttori garantiscono una durata secolare, in effetti, le strutture di difesa fluviale realizzate negli anni Cinquanta e Ottanta risultano ancora in efficienza.

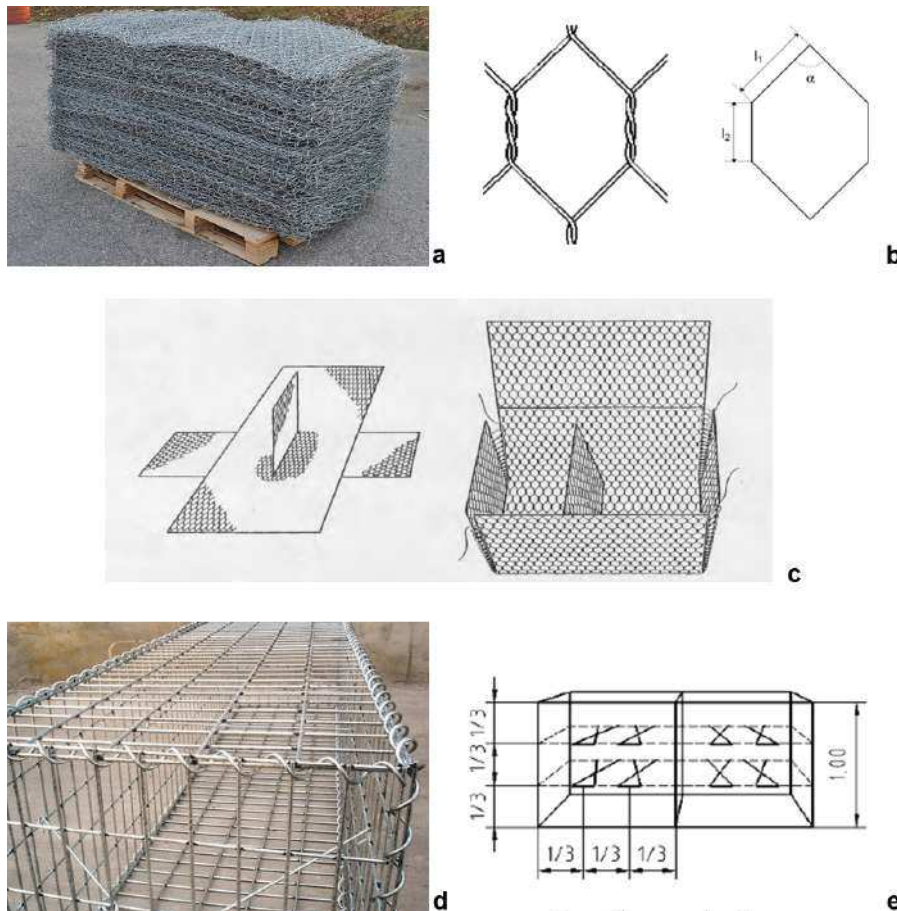


Figura 6.6: Componenti e regole costruttive dei gabbioni: a) pallett di gabbioni aperti; b) rete zincata a maglie esagonali doppiamente ritorte (da Lambert 2007); c) montaggio dei gabbioni in maglia zincata (da Sublette 1979); d) gabbioni in rete elettrosaldata di produzione SIRIVE; e) disposizione degli aggancia trasversali (da Lambert 2007)

Fondazioni profonde

Una soluzione altrettanto praticata sui siti archeologici, anche se da epoche più recenti, è quella dei micropali trivellati (cfr. per es. Grandinetti e Vassallo 2015 e Laurenti 2006), che garantiscono il superamento della zona di terreno "interessante" con una limitata alterazione e portano il problema del trasferimento dei carichi al terreno non antropizzato sottostante. In questo caso le difficoltà principali sono connesse alla scarsa rimovibilità di un simile intervento e alla possibilità di intaccare cavità e ambienti ipogei di cui non si è

venuti a conoscenza durante la fase di indagine dello scavo sia con la trivellazione sia con l'iniezione del cemento necessario a completare l'opera di fondazione. In entrambi i casi non va trascurata la cantierizzazione degli interventi, quindi i tempi e la collocazione dei mezzi necessari allo scavo o alla trivellazione e successivamente al getto (Fig. 6.2b).

Anche se non si sta parlando di carichi importanti in fondazione, i principali fattori che influenzano la capacità portante di un palo sono a) il tipo e caratteristiche geotecniche del terreno; b) le condizioni della superficie e delle acque di falda; c) le caratteristiche del palo; d) i materiali impiegati; e) lunghezza e diametro del palo; f) profondità di infissione; g) inclinazione del palo rispetto alla verticale; h) distanza tra i pali; i) tipo di carico.

Rispetto a quelli tradizionali, i pali a vite in acciaio presentano i vantaggi dell'elevata ingegnerizzazione a monte, della ridotta invasività, della possibile rimovibilità, della possibilità di collegare gli elementi in cantiere, della rapidità di infissione in assenza di vibrazioni e rumore, della lavorazione a secco, della possibilità di inclinarli a piacere, di accedere anche ad aree ristrette, di poter sporgere dal terreno per collegarsi alle strutture in elevazione e infine nella possibilità di caricarli immediatamente dopo la posa, oltre al manifestare il medesimo comportamento meccanico sia a trazione che a compressione.

Essi sono costituiti da un'asta tubolare in acciaio ad alta resistenza (S355) terminante con una punta di perforazione cui vengono saldate in continuo una o più spirali in acciaio ad alta resistenza. I diametri disponibili in commercio sono 48-60-76-90-114-140-168-219 mm mentre la vite, sempre destrorsa, ha un diametro compreso tra le 0,5 e le 1,5 volte quello del palo (\varnothing 180-220-250-300-400-500-700 mm). La vite è ottenuta per saldatura di un nastro di acciaio continuo o di corone circolari aperte ricavate da un foglio di lamiera a seconda che vogliono ottenere soli due giri o la spirale continua (Fig. 6.7).

Si distinguono tre tipologie di palo, a seconda del tipo di vite: vite doppia con due spire di elica nella parte inferiore del palo; vite singola corrispondente ad una spira di elica eventualmente ripetuta ad intervalli lungo il fusto; vite continua con un certo numero di giri dell'elica attorno al palo.



Figura 6.7: Pali prefabbricati ad elica in acciaio (da Geopal 2016)

Ciascuna variante permette di rispondere alle diverse strutture geologiche presenti nel suolo: quelli a "due giri" per terreni scadenti in superficie con uno strato migliore sottostante (resistenza alla penetrazione della punta nella prova penetrometrica $R_p > 40 \text{ kg/cm}^2$); "a

vite discontinua” per terreni a livelli alternati ($10 \text{ kg/cm}^2 < R_p < 40 \text{ kg/cm}^2$); infine i pali a “vite continua” per terreni particolarmente scadenti ($R_p < 10 \text{ kg/cm}^2$). Il primo tipo di palo è caratterizzato da un’invasività limitata e da una buona riuscita della presa, oltre ad essere il meno costoso; il palo a vite discontinua è un palo per carichi molto elevati che sfrutta le caratteristiche del sito e va impiegato per terreni fini e poco omogenei; il palo a vite continua, detto anche palo galleggiante, è strutturato per dissipare i carichi su terreni coesivi e inconsistenti mediante un’elica di grande diametro e pertanto può essere usato anche per sopportare carichi più elevati; è la tipologia più costosa (Fig. 6.8). La scelta del palo effettiva va poi fatta tenendo conto anche dell’entità dei carichi da dissipare nel suolo, del tipo di struttura in elevazione e dei cedimenti massimi compatibili con la parte fuori terra.



Figura 6.8: Posa in opera di (da sinistra a destra) pali a vite singola; a vite multipla e a vite continua (da Geopal 2016)

Durante la penetrazione del palo nel terreno, la puntazza lo sposta radialmente, mentre la vite lo taglia e lo compatta facendolo aderire al fusto così da creare una significativa adesione tra il palo stesso e il substrato; l’elica inoltre limita lo smuovimento facilitando al contempo l’avanzamento. La vite svolge un ruolo importante anche in condizioni altrimenti difficili da affrontare con altre tecnologie: aumenta la superficie di contrasto col terreno per pali sollecitati a trazione mentre nei terreni saturi o coesivi aumenta la superficie esposta al risucchio verso il basso esercitato dall’acqua (Geopal 2016).

Il collegamento con la struttura soprastante può essere fatto a secco, per strutture in legno e/o acciaio, o a umido per quelle in calcestruzzo. In quest’ultimo caso il fusto deve essere iniettato col cls e va vibrato così da garantire il collegamento con la struttura soprastante. Nel caso di strutture assemblate, che dovrebbe essere il tipo più compatibile col sito, il collegamento avviene mediante copritesta filettati e imbullonati all’asta del palo: la filettatura permette di regolare l’altezza della flangia forata su cui si imposta la struttura verticale. Ai bulloni è affidato anche il collegamento degli spezzoni di fusto quando non ne è possibile l’infissione in un pezzo unico per motivi di spazio o perché si preferisce contenere la dimensione dei macchinari.

La messa in opera richiede pochi minuti di lavoro per ciascun palo e può essere eseguita con macchine operatrici diverse: escavatori meccanici o gru di autocarri dotati dell’avvitatore idraulico, la sonda da trivellazione. Chiaramente quest’ultima nel contesto del sito archeologico, grazie alle minori dimensioni, può essere la soluzione preferibile anche se nel caso di siti più facilmente accessibile può essere una buona soluzione l’infissione

tramite autocarro. Una volta rimosso il palo non è più utilizzabile la stessa posizione. Trattandosi di strutture metalliche a contatto diretto con l'ambiente (per quanto tale ambiente sia in effetti il terreno), i pali metallici sono esposti ai fenomeni di corrosione di fatto analoghi a quelli che si manifestano all'aria aperta. Per tale motivo il produttore prevede tanto un trattamento di verniciatura con un primer bituminoso che garantisce una tenuta di 10 anni quanto la zincatura a caldo dell'intero elemento strutturale, garantendo in questo secondo caso una durata di 50-100 anni in sostanziale corrispondenza con la vita nominale di un'opera ordinaria (Geopal 2016).



Figura 6.9: Muri isolati e padiglioni temporanei con struttura verticale in gabbioni



Figura 6.10: Esempi di texture ottenibili variando il tipo e la forma degli inerti utilizzati nel gabbione

6.1.2 Fondazioni continue e cordoli di base

Completano il quadro le fondazioni di tipo continuo, il cui uso è in genere sconsigliato sul sito archeologico a causa del loro notevole impatto proprio nella posizione di maggiore interesse documentale. Se l'applicabilità di queste soluzioni è limitata e deve quantomeno sottostare all'imposizione di ricadere nel terreno "vergine" (Laurenti 2006) suscita un certo interesse la soluzione proposta da Samayoa et al. (2018) di un edificio realizzato interamente in gabbioni semplicemente sovrapposti e privi di fondazione, adottata anche per la progettazione di padiglioni temporanei negli Stati Uniti (Fig. 6.9).

Ne risulta un muro a secco, interamente smontabile, la cui texture e il materiale possono

essere scelti in funzione dell'effetto architettonico che si vuole ottenere, caratterizzato, a differenza di una muratura a secco propriamente detta, da interessanti prestazioni in termini di duttilità e resistenza, qualità entrambe apprezzabili in campo sismico (Lambert 2007; Samayoa et al. 2018; Fig. 6.10). L'assenza di malta permette di riprendere l'andamento di eventuali murature conservate in altezza nel pieno rispetto dei principi del restauro, quali reversibilità e distinguibilità, previa la verifica della resistenza della parete preesistente. In alternativa la muratura può essere composta da gabbioni semplicemente impilati sfalsandoli secondo la regola di posa dei blocchi per muratura secondo quanto realizzato anche da Samayoa et al. (2018) (Fig. 6.10).

Nel caso della sopravvivenza di murature in elevato è frequente la soluzione del completamento della cresta muraria per pareggiarne l'altezza e servire da appoggio alle nuove strutture. Tipicamente al di sotto e al di sopra della muratura nuova si dispongono spezzoni di profilato ad intervalli regolari a cui sono saldati i montanti della struttura verticale (Fig. 6.11). Gli elementi possono rimanere a vista oppure essere mascherati dal rivestimento dell'architettura. Lo strato di muratura di sacrificio può essere in mattoni pieni o di tessitura analoga a quella impiegata nell'edificio. Non si ha notizia al momento dell'applicazione a queste soluzioni di barre d'armatura così da realizzare un vero e proprio cordolo in muratura. L'inserimento delle barre o la fasciatura mediante fibre permette di conferire a questi cordoli una certa resistenza all'inflessione fuori del piano e di collegare le murature tra loro ortogonali così da favorire la globalità della risposta al sisma. Nella recente sistemazione della Villa del Casale, le strutture verticali si impostano ora su una sorta di cordolo ottenuto affiancando tre profili HE tra cui è stata colata un cemento molto liquido (Figg. 6.31, 6.32).

6.2 Strutture verticali

La struttura verticale delle coperture di protezione tipicamente è di tipo puntiforme a pilastri, in legno o acciaio con diversi gradi di provvisorietà.

Nelle strutture più semplici o a carattere provvisorio si utilizzano profilati metallici di sezione minima, tubolari o scatolari, o anche i tubi Innocenti (Fig. 6.13) ottenendo così strutture particolarmente vulnerabili al collasso per azioni ambientali, quali vento o nevicate intense. In ogni caso mancano adeguate dotazioni di discesa e smaltimento della pioggia raccolta dalle coperture.

Nelle strutture definitive i sostegni verticali variano anche in funzione al tipo di copertura adottata. Nel caso di sistemi a telaio la soluzione più ovvia è rappresentata da profilati a sezione aperta o chiusa collegati di solito mediante bullonatura alla fondazione e alle travi; la presenza di controventature nel piano verticale è propria solo delle strutture più recenti (Fig. 6.14b). Nel caso di coperture di tipo reticolare spaziale, la forma del sostegno può essere più variabile, si ricordano le situazioni ramificate della Casa dei Coiedii a Suasa (Fig. 4.5b), la sezione a croce rastremata e ramificata della Villa di Arianna a Stabia (Fig. 6.14a) anche se la soluzione più comune sono massicci pilastri tubolari come nella ville romane di Castro dei Volsci (FR) o di Casignana (RC) (Fig. 4.8a).

I sostegni in legno sono di uso piuttosto limitato in Italia e il loro impiego è invece tipico nelle musealizzazioni di area austriaca e tedesca (cfr. Par. 4.2.5). La durabilità della soluzione è condizionata alla presenza di un rivestimento adeguato del materiale in grado

di offrire la protezione necessaria (Fig. 6.15).

Pochissimi sono i casi di impiego del cemento armato, poiché questo non presenta, nemmeno in potenza, la caratteristica di reversibilità richiesta all'intervento sul sito.



Figura 6.11: La casa in gabbioni durante la costruzione (da Samayoa et al. 2018)

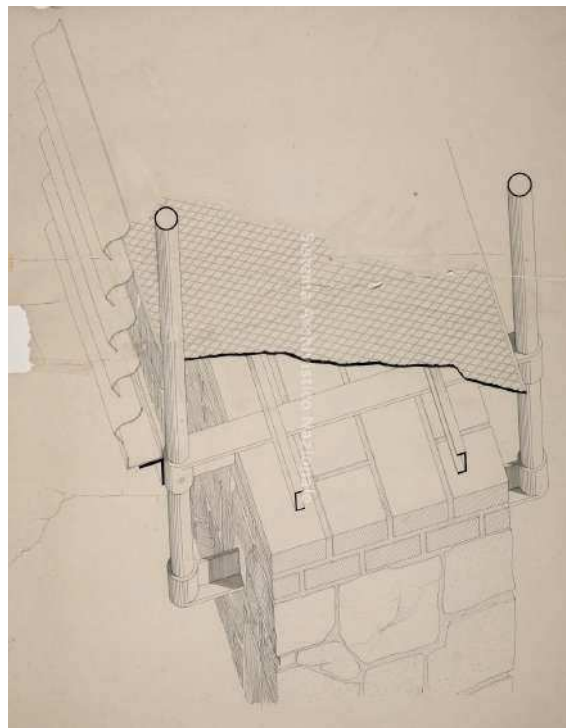


Figura 6.12: L'ancoraggio dei padiglioni di Minissi alle murature archeologiche della Villa del Casale (da [46])

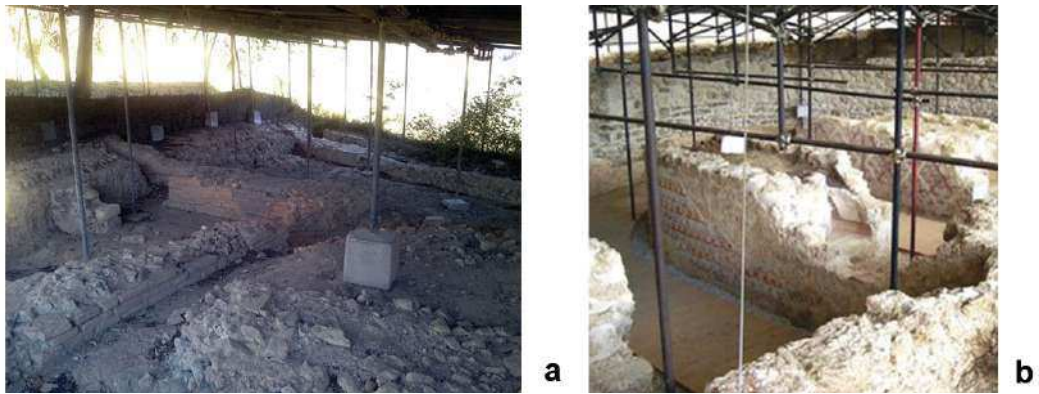


Figura 6.13: Strutture metalliche provvisorie: a) La vecchia copertura di Pitinum Pisaurense a Macerata Feltria (PU) (da [55]); b) gli scavi di S. Vincenzo al Voltuno (da [21])

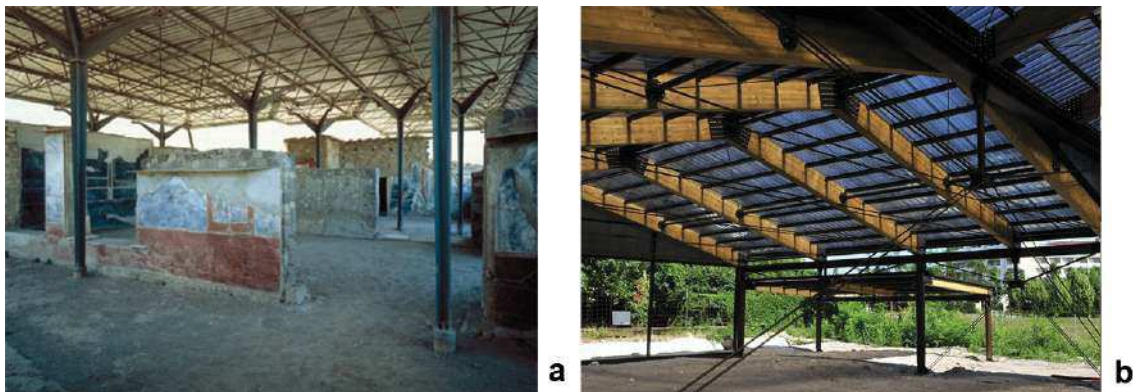


Figura 6.14: Strutture metalliche definitive: a) la parte vecchia della copertura della villa di Arianna a Stabia (da [17]); b) area archeologica Montegrotto Terme (PD) (da [56])



Figura 6.15: Strutture in legno prive di protezione laterale: a) area archeologica di Porto Recanati (MC) (da balneareantonio.it); b) area archeologica di Scoppieto (TR) (da museiprovinciaterni.it)

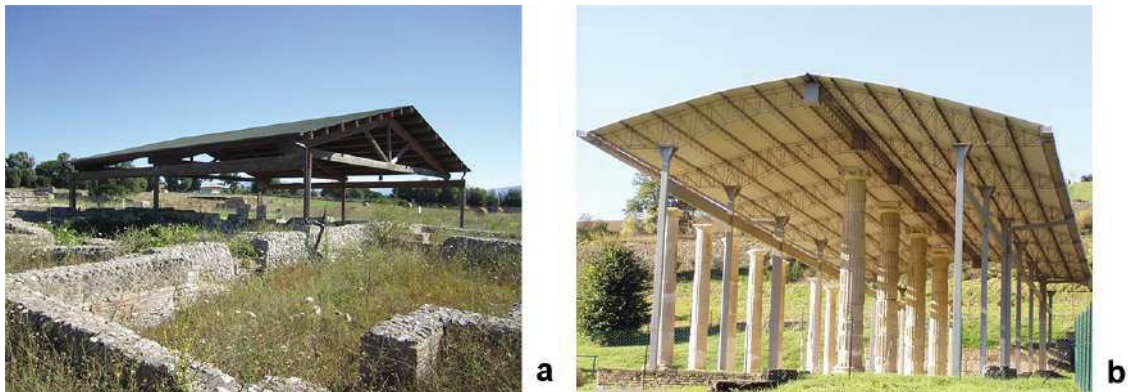


Figura 6.16: Coperture a capriate: a) isolata in legno a Fiano Romano (MC) (da tripadvisor.it); b) area archeologica di Scoppieto (TR) (da turismomarche.it)



Figura 6.17: Coperture parziali in lamellare sulle case di Fregellae (da frosinonetoday.it/)

6.3 Strutture orizzontali

La copertura richiede di per sé di poter coprire anche grandi luci senza sostegni intermedi. Tolti i sistemi, anche non provvisori, che richiedono la presenza di sostegni anche interni all'area archeologica, le soluzioni tipiche sono le capriate, tradizionali o reticolari, per dimensioni ordinarie (dai 6 fino ai 15-20 m) e le strutture reticolari spaziali — cui è dedicato un approfondimento specifico — o in legno lamellare per luci notevoli (dai 20 m). Ovviamente l'aumento di luce strutturale coperta richiede anche un aumento delle sezioni delle membrature, dei sostegni verticali e delle fondazioni. Pertanto, prima della diffusione del lamellare, una soluzione molto diffusa era la reticolare spaziale piana impostata al perimetro del sito. La resa estetica alquanto fredda e tecnicistica, oltre a problemi di natura fruitiva — impatto visivo — e conservativa — ospitalità offerta agli uccelli, gestione delle pendenze — hanno fatto sì che oggi siano sostanzialmente abbandonate rispetto ai sistemi in lamellare, a telaio o con travi curve.

Le capriate semplici, in legno, sono di solito impiegate per coperture isolate su singoli lacerti o pavimentazioni, le coperture a capriate reticolari piane metalliche invece sono utilizzate per coprire complessi isolati di dimensione intermedia, come *mansiones*, *villae rusticae* o templi (Fig. 6.16).

Le grandi strutture in lamellare permettono di coprire anche siti molto estesi in maniera unitaria, tuttavia creano un effetto di straniamento del sito rispetto all'ambiente circostante e pongono il problema dello smaltimento dell'ingente quantità di acqua piovana intercettata dalla copertura. Una soluzione intermedia è quella adottata a *Fregellae*, dove vengono coperte in modo unitario le aree corrispondenti all'ingombro complessivo di alcune case entro lo spazio urbano (Fig. 6.17).

6.3.1 Strutture reticolari spaziali

Le strutture reticolari spaziali coprono, con le tensostrutture, la classe dei sistemi discontinui tridimensionali in acciaio o alluminio. Esse, limitando al massimo il peso proprio e i carichi permanenti, consentono di poter sfruttare appieno le potenzialità del materiale e aumentare il carico utile che diventa così preponderante nelle tensioni cui è sottoposta la struttura (Makowski 1977). Un particolare contributo allo sviluppo di questa forma strutturale è stato dato dall'architetto S. du Chateau che ha proposto da solo almeno una decina di soluzioni (Porto 2014).

Perché possa dirsi "telaio spaziale" gli elementi lineari devono essere assemblati in modo tale da trasferire i carichi in modo tridimensionale e formare nel complesso una superficie piano o curva (Ramaswamy et al. 2002). In altri termini, rispetto ai telai piani che si oppongono singolarmente ai carichi esterni, nei sistemi spaziali si ha la collaborazione di più elementi così da cercare la maggiore uniformità possibile: ciascun elemento collabora con gli altri per distribuire le sollecitazioni ma non ha una propria funzione specifica. Tali caratteristiche, dipendenti dalla disposizione delle aste, va sotto il nome di "effetto spaziale" del sistema. L'"effetto reticolare" si riflette nella capacità del traliccio di assumere uno stato uniforme di tensioni in rapporto alla prevalenza delle sollecitazioni assiali su quelle flettenti delle aste. La struttura sarà pertanto tanto più valida staticamente ed economicamente quanto più i due effetti sono esaltati, così da garantire lo sfruttamento e la distribuzione ottimale del materiale (Prete 1976).

La struttura reticolare spaziale risulta allo stesso tempo rigida e leggera — tipicamente il peso proprio è compreso tra i 18 e i 30 kg/m² — e consente di coprire grandi luci senza bisogno di sostegni intermedi, unendo il vantaggio di un costo relativamente contenuto alla semplicità di montaggio. Altri aspetti chiave di questa tipologia strutturale sono la grande flessibilità rispetto sia alle forme di appoggio a terra sia all'inserimento di punti di aggancio di servizio; l'integrabilità impiantistica, poiché gli impianti possono essere montati mentre la struttura è ancora a terra, prima del sollevamento; l'adozione di tecniche di prefabbricazione ed industrializzazione che consentono di ricorrere a manodopera non specializzata riducendo i costi e i tempi di montaggio grazie alla bassa tolleranza dimensionale; il ridotto peso proprio consente di ridurre l'entità delle opere di fondazione (Ramaswamy et al. 2002). I principali svantaggi sono quelli relativi all'utilizzo di componenti industrializzate e solitamente altamente ingegnerizzate: un costo più elevato, dovuto alle lavorazioni richieste per la produzione dei pezzi; la limitata reperibilità; la

limitatezza numerica e la rigidità degli schemi possibili (Ventrella 1988).

Il montaggio della struttura (Fig. 6.18) può avvenire a sbalzo, per sollevamento o per parti. Nel primo, a partire da un punto di appoggio, piccoli tronchi sono aggiunti progressivamente cercando di collegare anzitutto gli appoggi e puntellando dove è necessario; la soluzione è indicata per cantieri dove si escludono mezzi di sollevamento e si eseguono operazioni semplici. Nel secondo la struttura è montata interamente a terra e poi viene collocata in opera mediante opportuni sistemi di sollevamento; è indicata per grigliati piani. La tecnica di montaggio più frequente è intermedia tra le due, in cui ampi stralci di struttura vengono assemblati a terra e poi collegati in opera.

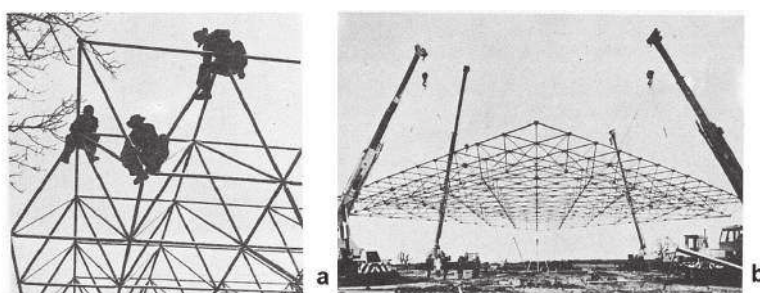


Figura 6.18: Montaggio delle strutture reticolari: a) montaggio per parti; b) montaggio a terra e successivo sollevamento (cd. *lift slab*; daPrete 1976)

Le maglie reticolari utilizzate più di frequente sono ottaedriche o tetraedriche in modo da usare elementi di uguale lunghezza per una maggiore semplicità costruttiva; quelle tetraedriche consentono tuttavia di sfruttare il materiale in modo migliore. I grigliati su maglia triangolare piuttosto che quadrata, risultano essere più rigidi e sono pertanto più adatti per luci particolarmente ampie; in alternativa è possibile ottenere una distribuzione più uniforme delle sollecitazioni ruotando la maglia quadrata di 45° cosicché le travi più corte presso gli angoli diano supporto a quelle più lunghe (Makowski 1977).

Le aste possono essere realizzate mediante profili a sezione chiusa o aperta. I tubolari sono più costosi da produrre ma offrono un momento di inerzia maggiore e quindi permettono di ridurre la quantità di materiale; d'altra parte il loro uso è consigliato solo quando le azioni sono davvero applicate ai nodi, altrimenti sono più indicati i profili a doppio T.

Il nodo gioca un ruolo importante nel risultato funzionale, statico ed economico dell'opera. In effetti, in esso si concentrano gran parte dei costi e delle difficoltà tecniche che caratterizzano ciascun sistema: i nodi saldati risultano poco versatili, quelli di lamiera piegata spesso troppo complicati, quelli pressofusi troppo costosi; un discreto miglioramento è ottenibile con lo stampaggio (Caioli 1982; ECO Space Systems 1987). I nodi influiscono sulla resa della struttura dal punto di vista meccanico — confluenza delle aste —, statico — punti di smistamento delle forze —, economico — dovuto alle lavorazioni necessarie per produrli —, estetico — dovuto al loro ingombro nella struttura —. La ricerca di versatilità del nodo comunque è in conflitto con la necessità di contenere i costi.

Si possono distinguere: a) grigliati piani (Fig. 6.19); b) grigliati a falde piane o sistemi in foglio (Fig. 6.20); c) gusci a semplice o doppia curvatura (Fig. 6.21).

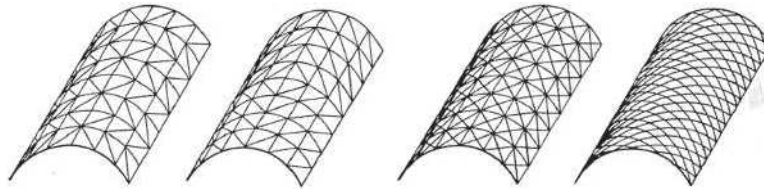


Figura 6.19: Volte a botte ottenute da grigliati piani ad un reticolo (da Makowski 1977)

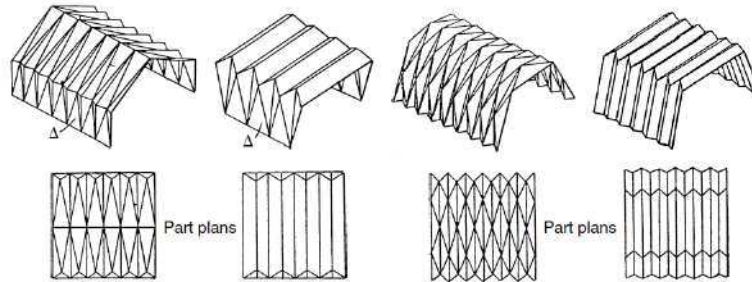


Figura 6.20: Strutture corrugate resistenti per forma (da Makowski 1977)



Figura 6.21: Gusci reticolari con diverse curvature (da Prete 1976)

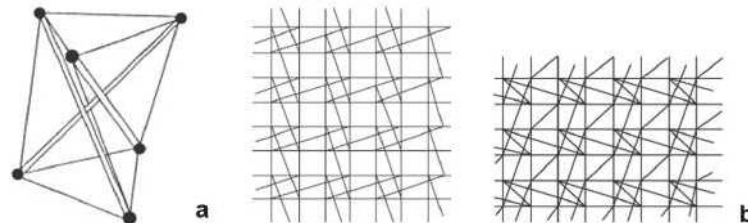


Figura 6.22: Strutture tensegrity: a) modulo prismatico triangolare; b) esempi di maglie strutturali piane, le linee continue sono gli elementi tesi, quelle discontinue i compressi (da Bangash e Bangash 2003)

Il secondo sistema è intermedio tra gli altri due mentre ciascun sistema può essere realizzato in semplice o doppio strato, a seconda che gli elementi resistenti siano disposti su una sola superficie o su due parallele opportunamente distanziate (Prete 1976).

Da un punto di vista statico, è bene che tutti i nodi di bordo siano appoggiati ma è possibile anche concentrare gli appoggi ai vertici della copertura o in pochi punti ma in tali casi è d'obbligo valutare correttamente la deformabilità della struttura.

Un caso molto particolare di strutture reticolari spaziali sono le cosiddette *tensegrity* (da *tension and integrity*), concepite da B. Fuller come un sistema strutturale opposto a quelli tradizionali, fatto di elementi prevalentemente tesi e isolati elementi compressi. Esse

pertanto assomigliano a strutture pneumatiche poiché le aste interne compresse spingono verso l'esterno gli elementi esterni tesi e quindi il sistema risulta precaricato. Ne risulta una struttura di per sé stabile, anche se abbastanza soggetta a problemi di vibrazioni, in grado di recuperare la forma dopo che sono stati tolti i carichi applicati (Bangash e Bangash 2003; Fig. 6.22).

Grigliati piani ad un reticolo. I grigliati piani ad un reticolo sono costituiti da due reti di travi disposte sullo stesso piano incrociandosi ad angolo retto o in diagonale. Le travi in genere a sezione a doppio T o U — per i profili di bordo — sono collegate negli incroci mediante saldature previo intaglio fino alla fibra media. In questo tipo di strutture è sempre opportuno ruotare la maglia rispetto ai bordi così da disporre le aste secondo le tensioni della lastra appoggiata al contorno e sfruttare il supporto delle travi corte agli angoli. La notevole rigidità permette di ridurre l'altezza strutturale ad $1/30$ per i grigliati rettangolari e $1/40$ per quelli diagonali ma sono indicati per luci entri i 30 m, oltre le quali sono più adatti i grigliati a due reticoli (Makowski 1977; Fig. 6.23).

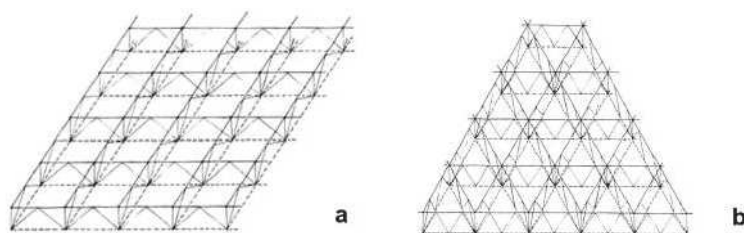


Figura 6.23: Graticci di travi piane: a) a maglia quadrata; b) a maglia triangolare (da Makowski 1977)

Grigliati piani a due reticoli. Il grigliato a due reticoli permette di avere esclusivamente sforzi assiali nelle aste così da usarne l'intera capacità resistenza. Le altezze strutturali sono in genere comprese tra $1/20$ e $1/25$ della luce. Le aste del reticolo inferiore possono essere disposte secondo uno schema quadrato o triangolare equilatero, ottenendo una notevole rigidità. Il doppio reticolo può anche essere generato dall'incrocio di travi piane, se si tratta di sistemi effettivamente tridimensionali l'elemento generatore si riconosce in una o più porzioni di cubo ottenendo (Prete 1976; Fig. 6.24):

Schema bidirezionale rettangolare formato da piramidi a base quadrata o rettangolare i cui vertici, rivolti verso il basso, sono uniti da una maglia ortogonale. La distanza tra i reticoli paralleli è pari a circa $1/20$ della luce;

Schema bidirezionale obliquo in cui le piramidi sono ruotate di 45° originando un sistema più rigido con le briglie superiori che si comportano come travi continue su appoggi elastici. La distanza tra i reticoli paralleli pari a circa $1/30$ della luce;

Schema bidirezionale incrociato in cui le aste del reticolo superiore sono ruotate di 45° rispetto a quello inferiore permettendo di infittire la struttura in zona

compressa e rarefarla in zona tesa, a patto di vincolare la struttura appoggiando i nodi perimetrali. È un sistema intermedio tra i due precedenti e più conveniente in termini tecnici ed economici.

Ulteriori varianti di questo schema fanno uso di maglie triangolari sui due livelli, di maglie esagonali sulla superficie superiore e triangolari su quella inferiore o di maglie esagonali su entrambe le superfici. Le strutture a maglia esagonale si prestano in particolare per la realizzazione di cupole e alle volte.

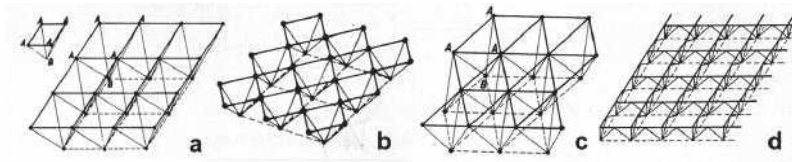


Figura 6.24: Grigliati a due reticoli: a) a maglie quadrate sui due piani; b) a maglie quadrate incrociate a 45°; c) a maglie tetraedriche; d) a travi piane incrociate (da Prete 1976)

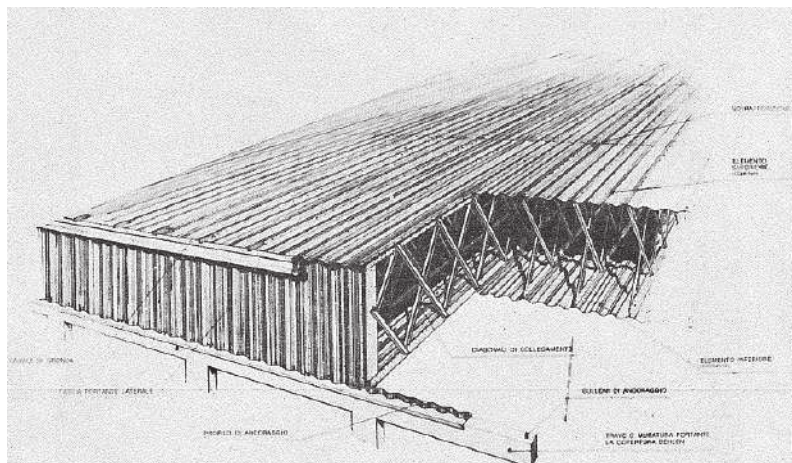


Figura 6.25: Schema del sistema Behlen (da Prete 1976)

Grigliati a falde piane. Le falde sono realizzate da fogli di lamiera o da tralici a maglie triangolari piegati e connessi così da sfruttare l'effetto di forma e ottenere un funzionamento a membrana nella lastra e sforzi esclusivamente assiali nelle membrature. Si possono realizzare anche in doppio strato qualora particolari esigenze statiche lo richiedano. Anche per tali motivi la resistenza della struttura dipende prevalentemente dalla configurazione geometrica della superficie più che dalle caratteristiche del materiale adoperato, rendendo possibile l'adozione di materiali diversi rispetto all'acciaio come l'alluminio e le materie plastiche. La struttura portante può essere risolta con maglie triangolari equilatero (sistemi a traliccio), romboidali (sistemi lamellari) esagonali, oppure ad unioni di triangoli sferici o esagoni e pentagoni (sistemi geodetici) piane oppure corrugate, cioè applicando delle plissettature alla

superficie. Rientra in questa categoria il sistema noto come Behlen che fa uso di pannellature parallele in lamiera grecate collegate da piatti di acciaio incrociati così da ottenere uno schema a rombi. Le pareti perimetrali sono realizzate con la stessa lamiera, eventualmente irrigidita con controventi nel piano, ottenendo una struttura priva di pilastri ma con appoggio continuo lungo i bordi (Behlen 2010; Tomasi 1981; Fig. 6.25).

Si può dire che la diversità dei sistemi costruttivi si concentra nella soluzione adottata per il nodo, poiché da essa dipendono il tipo e le dimensioni del profilo, le modalità di realizzazione e montaggio nonché il costo. Il principale criterio di distinzione tra essi può essere considerato il settore di impiego, a seconda che cioè il sistema sia universale e pertanto applicabile ad ogni tipo di traliccio spaziale come il Mero, oppure pensato in rapporto ad uno specifico schema strutturale come l'Unibat (Prete 1976).

Esistono due categorie di sistemi costruttivi: a) modulari, che fanno uso di un elemento tridimensionale preassemblato, in genere piramidale, da collegare in opera mediante bulloni; b) "nodulari", nei quali la struttura è scomposta in aste e nodi; ulteriori distinzioni di questa categoria sono possibili in rapporto alla forma del nodo. I sistemi nodulari sono più diffusi, perché più flessibili oltre che più maneggevoli dei primi, e in essi il maggior sforzo progettuale è indirizzato alla eliminazione delle saldature richieste in opera.

Sistemi modulari. Si compongono di moduli ottaedrici, tetraedrici e a volte anche triangolari piani che formano il reticolo superiore e le diagonali. Il telaio piano è formato da profili a sezione aperta, le diagonali da tubolari; in opera vengono completati montando le briglie inferiori anch'esse tubolari. Il sistema risulta di facile assemblaggio e richiede solamente bulloni ma è vincolato sia dal punto di vista geometrico, sia dal punto di vista dell'altezza dei moduli, a loro volta limitati dalla dimensione delle vasche impiegate per la zincatura (Posocco 1988). Appartengono a questo gruppo lo Space Deck, il Pyramitec, l'Unibat, il Trispan e il T&B (Fig. 6.26a).

Sistemi "nodulari" con nodi pieni. I nodi sono poliedri o sfere in cui convergono, a seconda del sistema, fino a 12 o 18 aste che possono coprire quindi le principali direzioni dello spazio, secondo lo schema quadrato o triangolare. L'altezza della struttura è libera, dipendendo dalla lunghezza delle aste ma rimanendo vincolata alle direzioni consentite dal nodo. Le aste sono in genere tubolari con estremità filettate e rastremate. Questi sistemi sono caratterizzati da una maggiore pulizia formale, ma da un costo più elevato, dovuto alle lavorazioni necessarie per realizzare le filettature e gli ispessimenti di estremità (Fig. 6.27a). Esempi rappresentativi sono il Mero, il Composit-AD (EdilCOOP 1987), i sistemi Star-DAL e Tel-DAL (Acciaierie Dalmine 1981; Di Gravio 1987), Arvedi Ingegneria Siderurgica 1989, Triodetic (usato però per grigliati piani), Carmes (che fa uso di un elemento cilindrico come nodo) (Bacchiocchi e Radi 1988).

Sistemi "nodulari" con nodi a guscio. Il nodo viene scomposto in due parti e diventa cavo; una volta inserite le aste le due metà vengono serrate da uno o più bulloni. Si tratta di sistemi caratterizzati da una grande semplicità produttiva e operativa ma fortemente vincolati allo schema statico e quindi con minori possibilità aggregative

(Fig. 6.27b). Esempi: Tridirectional SDC (Porto 2014); Oktaplatte; Nodus; Spherobot (Lafitte 1982); Tuball (Ramaswamy et al. 2002); Vestrut (Ventrella 1988).

Sistemi modulare con nodi piani stampati. Questi sistemi semplificano ancora di più il nodo, ottenendolo da un piatto di lamiera stampato a freddo e forato in modo da limitare l'operazione di cantiere alla sola posa dei bulloni (Fig. 6.27c). Oltre ai tubolare le aste possono essere profili a sezione aperta, anche formati a freddo. Esempi: Unistrut (Porto 2014); Octatube; Eco Caioli 1982; ECO Space Systems 1987; Vento 1989; Vast (VAST-System 1984) ; Premit e Premit-2 (Posocco 1988; Prete 1976)

Sistemi di travi piane a graticcio. Non si tratta di vere e proprie strutture spaziali perché gli elementi portanti sono disposti secondo il piano verticale. Il graticcio risultante può essere a maglia quadrata o triangolare-esagonale. I profili usati sono del tipo a sezione aperta o scatolare e il montaggio avviene tramite bulloni e collegamenti d'anima (Fig. 6.26b). Esempi: Met-RAM (Makowski 1977); Cabir (Romanelli 1989); Cash (Melchiorre 1977).

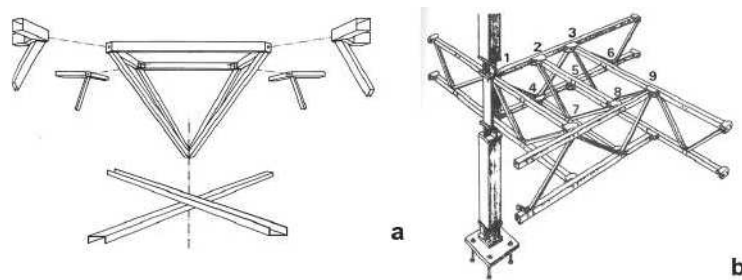


Figura 6.26: a) Sistema modulare (Unibat); b) sistema a graticcio (Cash) (da Melchiorre 1977)

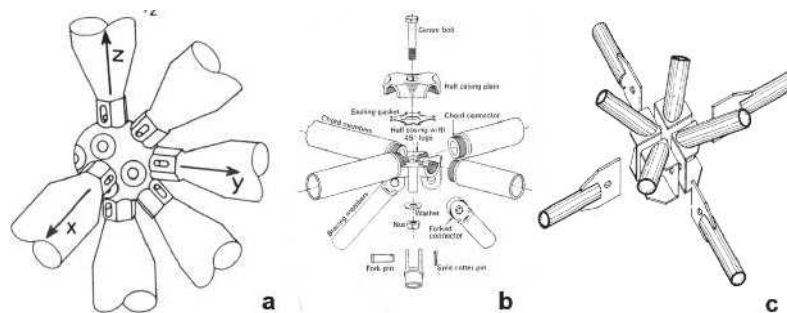


Figura 6.27: Sistemi nodulari: a) a nodi sferici (Mero); b) a nodi a guscio (Nodus); c) a nodi piatti (Premit) (da Melchiorre 1977)

6.4 Chiusure perimetrali

Le chiusure della struttura di copertura archeologica non sono in realtà, al contrario di quanto dovrebbe effettivamente essere, in cima alla lista delle priorità del progetto, per come oggi questo risulta concepito. In genere quelle verticali sono del tutto assenti, risultando nella totale mancanza di confinamento laterale delle strutture archeologiche

(Fig. 6.28). Questo fa sì che nel caso di siti coperti, non protetti ai lati e anche solo leggermente al di sotto del piano campagna ci sia un progressivo accumulo di inquinanti — intesi nel senso generale di composti reagenti dispersi in aria — con deleteri effetti sulla conservazione. La mancanza di confinamento laterale espone poi i materiali al sole diretto o alla pioggia portata dal vento. Ugualmente inadeguate, più per gli aspetti connessi al guadagno solare, sono le tamponature realizzate in materiali trasparenti o traslucidi. Più apprezzati sono invece i rivestimenti a lamelle, in legno o altro materiale, che schermano il sole diretto, creano una illuminazione diffusa, lasciano passare l'aria creando al contempo una efficace barriera rispetto alle condizioni esterne (cfr. 4.7; 4.27).

I manti di lamiera grecata o le onduline, opache o trasparenti, in fibrocemento o in fibra di vetro sono tutte ugualmente inadeguate perché sono prive di strato coibente, non hanno adeguata resistenza, oltre ad essere facilmente deteriorabili e avere un effetto visivo inaccettabile. L'assenza di uno strato isolante fa sì che su di esse condensi l'umidità, dando origine a gocciolamenti su materiali sottostante; d'altra parte il fatto che il materiale sia traslucido non impedisce l'effetto serra aumentando la temperatura interna.



Figura 6.28: Inadeguato confinamento laterale dovuto a: a) eccessiva superficie vetrata anche se compensata da un pronunciato aggetto di gronda (da [57]); b) completa assenza della parete verticale (da [58])

6.5 Alcune esperienze recenti

Su alcuni siti archeologici italiani sono state recentemente sostituite o integrate le coperture archeologiche esistenti, facendo tesoro dell'esperienza accumulata per la definizione di una soluzione architettonica e conservativa più completa.

Le ricerche condotte da M.C. Laurenti negli anni Duemila hanno portato alla revisione della copertura della villa di Arianna a Stabia (NA, Fig. 6.29) e della villa di Casignana (RC, Fig. 6.30b). Sulla prima la struttura è di tipo a telaio in legno lamellare con giunti in acciaio. I pilastri si impostano su plinti metallici cilindrici in appoggio superficiale o solo leggermente interrati mentre la resistenza laterale è offerta da controventi metallici. La copertura è di tipo metallico con intercapedine di ventilazione così da attenuare l'onda termica al di sotto; la chiusura laterale è ottenuta da lastre di polycarbonato e lamelle in alluminio (Laurenti 2006). Nella villa di Casignana, i cui resti emergono di poco da suolo, non c'è intento riconfigurativo e la copertura appare formata da quattro onde in successione interrotte lungo la generatrice per poter consentire l'espulsione dell'aria calda. La copertura, anche questa metallica termicamente isolata, è sorretta da una struttura reticolare spaziale impostata su un telaio controventato formato da tubolari in acciaio. Il confinamento laterale avviene mediante una membrana che permette uno scambio

termoigrometrico con l'esterno.

La soluzione proposta da Jerome (1995) per la ricostruzione di una casa minoica del sito di Palaikastro (Creta) fa uso di criteri analoghi ma ricorre anche a materiali vernacolari — legno, mattoni d'argilla e intonaco — per rivestire la struttura di acciaio su plinti in cemento suggerendo la volumetria e l'aspetto dell'edificio originale. All'interno la struttura risulta a tutta altezza mentre passerelle sopraelevate consentono la fruizione (Fig. 6.30a).

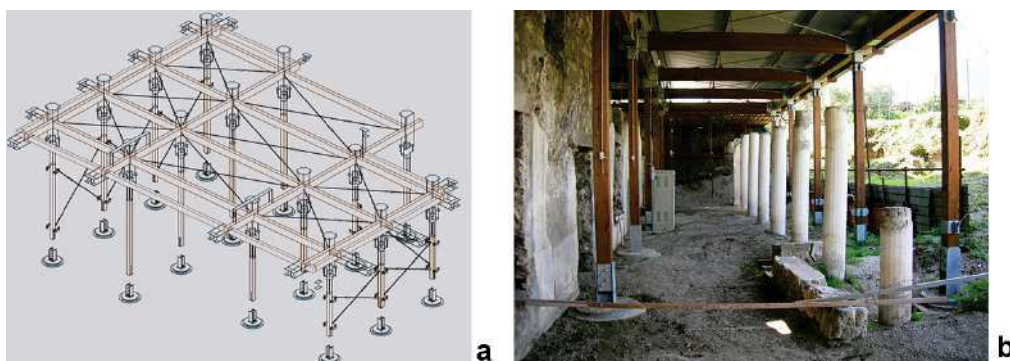


Figura 6.29: Copertura della villa di Arianna: a) vista assometrica del modello privo di rivestimenti; b) vista della struttura applicata al peristilio della villa (da Laurenti 2006)

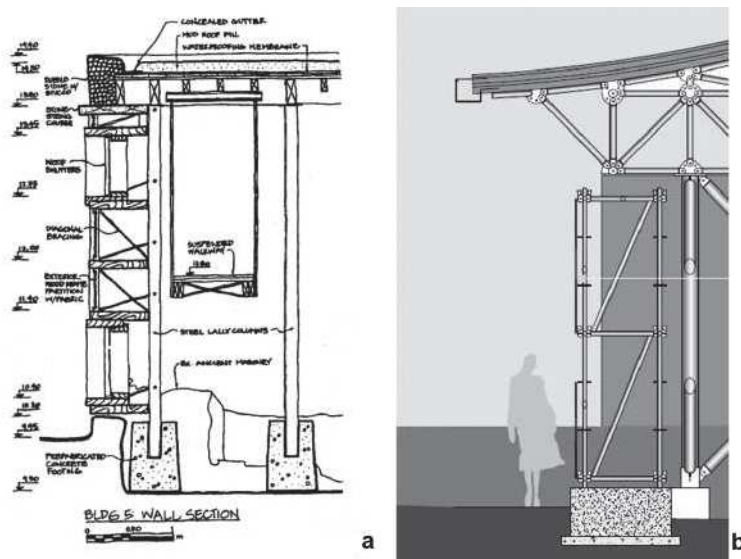


Figura 6.30: Soluzioni assai diverse sono ottenibili combinando elementi con analoga funzione e ruolo strutturale ma diversa resa formale: a) proposta di copertura per la ricostruzione di una casa a Palaikastro, Creta (da Jerome 1995); b) proposta di copertura non riconfigurativa per la villa di Casignana (da Laurenti 2006)

L'intervento di sostituzione della copertura di Minissi della Villa del Casale, segue il concetto della resa volumetrica proposta dall'architetto laziale, ma se ne allontana per la resa dell'illuminazione poiché ora le tamponature e la copertura non sono più trasparenti ma opache. Anche la struttura riprende le linee di quella proposta da Minissi, aggiornandola

alle nuove esigenze strutturali: i tubolari di acciaio dei montanti verticali sono completati da controventi mentre la struttura orizzontale è realizzata in leggere capriate reticolari abbinata in legno lamellare così da nascondere i fazzoletti metallici di collegamento alla vista (Fig. 6.31, 6.32).



Figura 6.31: Nuova musealizzazione della villa del Casale: a) vista del peristilio con la trave di bordo del tetto e il cordolo di base in primo piano; b) vista della copertura reticolare



Figura 6.32: Nuova musealizzazione della villa del Casale: a) vista dell'abside della basilica; b) dettaglio della struttura in acciaio e legno

Property (in direction of fibre)	Specification	Tensile strength	Elastic modulus	Elongation at failure	Density	Coeff. of thermal expansion	Thermal conductivity	Fibre diameter
		[10 ³ /mm ²]	[10 ³ /mm ²]	[%]	[g/cm ³]	[10 ⁻⁶ /K]	[W/mK]	[µm]
Inorganic fibres								
Glass	E	3.4–3.5	72–77	3.3–4.8	2.52–2.60	5.00	1	9–24
	R/S	4.4–4.6	75–88	4.1–5.4	2.50–2.53	4.00	1	9–24
	AR	2.7	21–74	2.0–4.3	2.68–2.70		1	9–24
Carbon	HT	3–5	200–250	1.2–1.4	1.75–1.80	-1.00	17	7–9
	IM	4–5	250–350	1.1–1.9	1.73–1.80	-1.20		7–9
	HM	2–4	350–450	0.4–0.8	1.79–1.91	-1.30	115	7–9
Polymer fibres								
Aramid	IM	2.7	58	3.3	1.44	-2.00	0.04–0.05	12
	HM	2.4–2.7	120–146	1.5–2.4	1.44	-4.00	0.04–0.05	12
Polyester (PET)		1.1	10	22	1.38			
PA		0.9	5	20	1.16			
PE		2.7–3.6	89–116	10–45	0.97	-12.10		
Natural fibres								
Flax		0.8–1.5	60–80	1.2–1.6	1.40		0.04	5–38
Hemp		0.6–0.9	70	1.6	1.48		0.045	16–50

E: electric glass, R/S: high-strength glass, AR: alkali-resistant glass, HT: high tensile strength, IM: intermediate modulus, HM: high modulus

Figura 6.33: Proprietà meccaniche dei materiali rapportate alla densità: a) modulo elastico; b) resistenza (da Knippers et al. 2011)

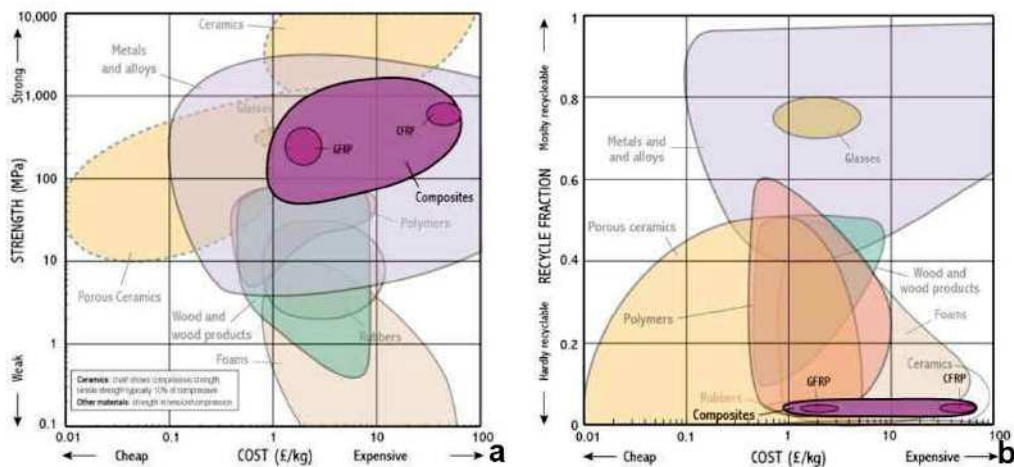


Figura 6.34: Costo dei materiali rispetto: a) la resistenza meccanica; b) la riciclabilità (da Knippers et al. 2011)

6.6 Materiali compositi polimerici

Il materiale composito, in quanto tale, è il risultato dell'unione di due o più costituenti che tipicamente vengono distinti in matrice, fibre, additivi o cariche. Il comportamento globale del composito è diverso da quello dei suoi costituenti. Un esempio di materiale composito ben conosciuto è il cemento armato. I materiali compositi polimerici rinforzati

con fibra di vetro (*Glass Fiber Reinforced Polymers* o GFRP) presentano, nell'impiego, i seguenti aspetti vantaggiosi (Fig. 6.33):

- strutturali:
 - ridotto peso proprio;
 - elevato rapporto tra resistenza e peso;
 - costi di installazione contenuti (a fronte di un maggior costo proprio del materiale);
 - buona resistenza alla fatica strutturale;
 - elevata resistenza alla corrosione;
 - durabilità e ridotta manutenzione (a compenso del costo maggiore iniziale) in rapporto alla resina utilizzata;
- cantierizzazione:
 - maneggevolezza;
 - facilità di lavorazione in cantiere;
- progettabilità:
 - in relazione all'uso strutturale;
 - alle condizioni di esposizione (luce, aggressivi chimici e ambientali);
 - in relazione alla resistenza al fuoco
- trasmissione e conduzione del calore
 - bassa conduttività elettrica e termica;
 - basso coefficiente di dilatazione termica;
 - resistenza al fuoco (salvo la perdita di prestazioni meccaniche dopo i 150 C circa);
 - completa trasparenza alle onde elettromagnetiche

Rispetto al legno non è richiesta manutenzione e il materiale è inerte rispetto alle variazioni di umidità e temperatura che possono determinare marcescenza, variazioni dimensionali, attacchi biologici e fenditure. Rispetto ai metalli, acciaio e alluminio, il pultruso è più leggero (75% dell'acciaio, 30% dell'alluminio) con proprietà meccaniche paragonabili o superiori nella direzione principale. Il vantaggio più grande è rappresentato ancora una volta dalla resistenza alla corrosione e dalla maggiore lavorabilità e manovrabilità in cantiere.

I principali svantaggi possono invece essere annoverati nei seguenti (Fig. 6.34):

- elevata deformabilità;
- assenza di deformazione in campo plastico (rottura fragile e improvvisa);
- bassa resistenza all'impatto;

- bassa resistenza al fuoco in assenza di ritardanti di fiamma e sviluppo di fumi tossici da parte di certe matrici;
- necessità di una verniciatura superficiale per uso esterno per inibire l'invecchiamento indotto dai raggi UV (di solito è già fornita dal produttore ma può essere necessario riapplicarla in corrispondenza delle giunzioni e dei pezzi lavorati in cantiere);
- costo iniziale più alto;
- difficoltà connesse al riciclo del materiale e al riuso degli elementi
- verifica sperimentale di strutture di nuova concezione
- assenza di una normativa di riferimento validata e diffusa tra i progettisti

Il comportamento elasto-fragile e meccanicamente ortotropo dei polimeri fibrorinforzati (trasversalmente isotropo) impongono alcune limitazioni al progetto, che possono essere compensati da certe resistenze elevate, dal basso peso specifico e dalla possibilità di poter progettare le proprietà del materiale secondo le richieste. Non consentono ovviamente lavorazioni a freddo, possibili con l'acciaio, come la pressopiegatura.

Le unioni più adatte per questo tipo di materiale sono le bullonate, poiché consentono l'assemblaggio sul posto e in officina, facilitano la produzione dei pezzi e le ispezioni di integrità, permettono l'uso di strumentazione non sofisticata, basso costo e velocità di montaggio, immediata messa in carico, smontabilità e infine maggiore disponibilità di dati sperimentali. Gli svantaggi principali annoverano l'obbligo d'uso di bulloni in acciaio inox; l'elevata concentrazione delle tensioni, al punto da poter usare solo il 50% della resistenza di base; la mancanza di ripartizione delle azioni per file successive di bulloni; il poco materiale sperimentale e normativo a supporto della progettazione.

Viste la resistenza alla corrosione, nelle sue diverse forme (chimica e per esposizione alla luce) e la leggerezza, i materiali pultrusi sono tipicamente impiegati per installazioni portuali (pontili, passerelle, attracchi), per realizzare ponti e passerelle esposti all'azione di sali disgelanti o a basse temperature, installazioni all'interno di impianti industriali e di trattamento acque (torri, passerelle, coperture e altre strutture di servizio). Le applicazioni civili rientrano nei casi di soppalchi e solai leggeri, scale, installazioni provvisorie.

La progettazione del composito richiede di conoscere le caratteristiche dell'ambiente in cui si troverà la struttura (umidità, temperatura), le richieste in termini di attrito e le vibrazioni cui sarà sottoposta.

Allo stato attuale esistono solo indicazioni normative non vincolanti per il progetto di strutture interamente in profilati pultrusi, poiché essi non rientrano tra i materiali normati da NTC 2018.

I documenti di riferimento sono:

Qualificazione del materiale: EN 13706-2:02;

Progettazione: *EUROCOMP 1996*, Ascione et al. 2016 a livello europeo, CNR DT 205 per l'Italia; ASCE 2010 in America in attesa della pubblicazione della norma completa;

Manuali in ambito delle strutture civili: la seconda parte di *EUROCOMP 1996* e poi in Bank (2006) e Zoghi (2014).

6.6.1 Componenti

Il materiale composito è la risultante della combinazione di due o più micro o macro-costituenti che differiscono nella forma e nella composizione chimica e sono insolubili l'uno e nell'altro. Uno dei due è detto matrice mentre l'altro rappresenta l'inclusione, che può avere forma sferica, lamellare o fibrosa; quest'ultima può essere a sua volta a fibre lunghe o corte. Il comportamento meccanico finale del composito è dato dall'interazione dei suoi costituenti e può essere progettato in base al loro rapporto.

Property (in direction of fibre)	Specification	Tensile strength [10 ⁹ /mm ²]	Elastic modulus [10 ⁹ /mm ²]	Elongation at failure [%]	Density [g/cm ³]	Coeff. of thermal expansion [10 ⁻⁵ /K]	Thermal conductivity [W/mK]	Fibre diameter [µm]
Inorganic fibres								
Glass	E	3.4–3.5	72–77	3.3–4.8	2.52–2.60	5.00	1	9–24
	R/S	4.4–4.6	75–88	4.1–5.4	2.50–2.53	4.00	1	9–24
	AR	2.7	21–74	2.0–4.3	2.68–2.70		1	9–24
Carbon	HT	3–5	200–250	1.2–1.4	1.75–1.80	-1.00	17	7–9
	IM	4–5	250–350	1.1–1.9	1.73–1.80	-1.20		7–9
	HM	2–4	350–450	0.4–0.8	1.79–1.91	-1.30	115	7–9
Polymer fibres								
Aramid	IM	2.7	58	3.3	1.44	-2.00	0.04–0.05	12
	HM	2.4–2.7	120–146	1.5–2.4	1.44	-4.00	0.04–0.05	12
Polyester (PET)		1.1	10	22	1.38			
PA		0.9	5	20	1.16			
PE		2.7–3.6	89–116	10–45	0.97	-12.10		
Natural fibres								
Flax		0.8–1.5	60–80	1.2–1.6	1.40		0.04	5–38
Hemp		0.6–0.9	70	1.6	1.48		0.045	16–50

E: electric glass, R/S: high-strength glass, AR: alkali-resistant glass, HT: high tensile strength, IM: intermediate modulus, HM: high modulus

Figura 6.35: Proprietà fisiche e meccaniche delle principali fibre di rinforzo (da Knippers et al. 2011)

Fibre

Le fibre conferiscono la resistenza e la rigidità al materiale composito in rapporto proporzionale al loro volume nella sezione trasversale del materiale e alla direzione rispetto alle sollecitazioni. La quantità di fibre nella sezione dell'elemento strutturale dipende dal processo di produzione: massima negli elementi pultrusi, minima nei prodotti ottenuti dalla sovrapposizione di strati a mano.

I materiali usati per la formazione delle fibre tipicamente impiegate nei compositi strutturali possono essere di tipo: a) organico, quali le aramidiche o il PVA (acetato di polivinile), le prime ad essere utilizzate; b) amorfo, quali il vetro, oggi le più diffuse; c) policristallino, come il carbonio e la grafite, per le applicazioni più impegnative. La temperatura cui si manifesta un degrado delle proprietà meccaniche è progressivamente crescente con le tipologie elencate, passando da meno di 150 °C per l'aramide a più di 700 °C per il vetro (Fig. 6.35).

Le fibre di vetro sono comunque le più impiegate per facilità e basso costo di produzione in combinazione con buone caratteristiche meccaniche e di durabilità finali. La resina

risulta determinante per la protezione della fibra. Esse sono contraddistinte da una o più lettere (A, C, D, E, AR, R, S, S-2) in base alle proprietà di resistenza alla corrosione e durabilità (A, AR, R), di resistenza al passaggio di corrente (D, E), di resistenza meccanica e di proprietà elastiche (E, R, S, S-2) (Sathishkumar et al. 2014). Le fibre E (“elettrico”), originariamente sviluppate come isolante per cavi elettrici, sono quelle più comunemente usate poiché garantiscono le migliori proprietà meccaniche; le fibre C invece, presentando una maggiore resistenza all’attacco chimico, sono usate piuttosto per la formazione degli strati più superficiali e per la produzione di stuoie; sono entrambe molto sensibili al danno, ciò che ne riduce significativamente le prestazioni. Le fibre S (“strength”) raggiungono rigidità e resistenze più elevate e pertanto vengono impiegate in applicazioni speciali ma vengono superate dalle R, appositamente studiate per componenti meccanici fortemente sollecitati e esposti ad aggressione chimica e ambientale (Bank 2006).

Matrice

La matrice polimerica consente l’ottenimento della sezione strutturale, determina la continuità tra le fibre grazie alla propria capacità adesiva, trasferisce il carico esterno alle fibre e garantisce la trasmissione degli sforzi all’interno della sezione mediante la propria — ridotta — rigidità tagliante; assicura, infine, la protezione delle fibre. Le caratteristiche meccaniche, in genere contenute, della matrice determinano anche il comportamento finale del composito, in termini di moduli elastici, ma soprattutto di resistenze a compressione e taglio dove sono impegnate in prima battuta (Russo 2010). In effetti, sebbene il contenuto volumetrico della matrice all’interno di uno specifico elemento sia variabile a seconda della tecnica di produzione, in genere si attesta su circa la metà del totale. La scelta delle resine più opportune è determinata dalla loro capacità di impregnazione delle fibre, anche in rapporto al rivestimento usato per poterle maneggiare, e dalla temperatura di esercizio per evitare perdite di rigidità e fenomeni di scorrimento viscoso (Bank 2006). Le caratteristiche richieste alla matrice possono essere riassunte nelle seguenti:

- ridotta variazione dimensionale durante la polimerizzazione;
- resistenza all’attacco chimico e al degrado provocato dai raggi UV;
- buona capacità di adesione alle fibre;
- buone proprietà meccaniche (resistenza a taglio e a trazione, elevato modulo elastico);
- ridotta perdita di capacità portante con l’aumento di temperatura;
- adeguato tempo di lavorabilità (polimerizzazione);

Per usi strutturali prevale l’impiego di resine termoindurenti in vinilestere, poliestere insature, epossidiche e fenoliche, che non manifestano o limitano la perdita di rigidità all’aumentare della temperatura. Tipicamente per la pultrusione sono impiegate resine di poliestere, che godono di buone prestazioni meccaniche e buona resistenza all’umidità; per ambienti aggressivi possono essere invece più indicate le resine in vinilestere, mentre le epossidiche garantiscono maggiori prestazioni meccaniche. Poiché l’unica componente del composito che può effettivamente bruciare è la resina, per aumentare la resistenza

al fuoco è possibile ricorrere ad una resina adeguata (in genere quella fenolica) ad additivi ritardanti o *filler* inerti o in grado di sprigionare acqua al riscaldamento. Le resine termoplastiche pur consentendo un maggiore allungamento a rottura con comportamento elastoplastico manifestano prestazioni meccaniche molto più contenute, temperature massima di esercizio più basse e pertanto il loro impiego è molto più limitato in campo strutturale.

La buona adesione tra la matrice e la fibra è garanzia non solo per le prestazioni meccaniche finali, in particolare trasversali, ma anche per la durabilità del materiale, in termini ad esempio di assorbimento di acqua e di resistenza alla fatica o all'impatto. La qualità e le caratteristiche del prodotto finito dipendono anche dall'aver completato il processo di polimerizzazione della resina in tutto il materiale (*curing*). Tuttavia la qualità dell'adesione non deve essere tale da rendere il materiale troppo fragile poiché le fratture si devono aprire lungo la fibra e non ortogonalmente ad esse. Nella resina inoltre possono essere aggiunte delle cariche che permettono di conferire un colore particolare al profilo o di assicurare una maggiore resistenza ai raggi UV. Le principali resine termoindurenti impiegate nella formazione di materiali compositi fanno parte delle seguenti famiglie (Bank 2006; Knippers et al. 2011):

Poliestere (UP). È la resina più usata per la formazione di prodotti compositi in fibra di vetro (GFRP) per via della lavorabilità, capacità di impregnazione e basso costo. Ha una buona tenacità a basse temperature ma un notevolissimo ritiro durante la polimerizzazione che può essere solo parzialmente compensato dai riempitivi. Richiede additivi per aumentare la resistenza agli UV e ridurre la propagazione della fiamma ma gode della proprietà di assorbire poca acqua anche se ha una resistenza all'attacco chimico inferiore rispetto alle altre resine. La polimerizzazione può essere indotta variando la temperatura, la quantità di indurente o l'aggiunta di un catalizzatore, rendendo possibile anche la lavorazione a mano. Viene tipicamente impiegato nella produzione di scafi di imbarcazioni;

Vinilestere (VE). È simile alla precedente, pur offrendo maggiore resistenza, temperature di degrado delle proprietà meccaniche più elevate, miglior resistenza a corrosione e soprattutto maggior capacità di impregnazione delle fibre. Oltre ad essere più costosa, la lavorazione è più difficoltosa rispetto al poliestere per i ridotti margini di temperatura e di tempo consentiti per la lavorazione. L'impiego è molto vario, tipicamente per prodotti ad uso speciale, ma rientra anche la produzione di profili pultrusi;

Resina epossidica (EP). Questa resina offre proprietà meccaniche superiori a quelle ottenibili utilizzando il poliestere, in particolare di comportamento al taglio, a fronte di un costo dalle 2 alle 10 volte superiore. Trovano impiego nei materiali speciali per l'industria aeronautica in associazione con le fibre di carbonio, ma le resine di minor costo possono essere usate anche per la fibra di vetro. Assicurano una buona stabilità dimensionale alle alte temperature (fino a 250 ° C), anche se non sono autoestinguenti, e una buona resistenza all'attacco chimico ma sono sensibili all'esposizione ai raggi UV; infine aderiscono bene alle fibre e garantiscono un ritiro ridotto;

Resina fenolica (PF). Tra le prime materie plastiche prodotte (bachelite), presenta proprietà meccaniche inferiori rispetto agli altri polimeri termoindurenti ma ha un basso costo di produzione e una buona resistenza alle alte temperature (superiori a 250 °C), oltre a sviluppare poco fumo nella combustione, ciò che la rende adatta ad applicazioni dove è richiesta una migliore risposta al fuoco. Il PF è molto utilizzato nella produzione di materiali fibrorinforzati per la sua iniettabilità.

Tutte le tipologie di resina descritte sono compatibili con le fibre normalmente utilizzate per il rinforzo, vale a dire vetro, carbonio e aramide. Oltre alle proprietà meccaniche finali che si desidera ottenere, per i materiali compositi è bene assicurarsi della temperatura di esercizio del materiale, che va confrontata sia con la temperatura di transizione vetrosa sia con la cd. *heat distortion temperature* (HDT; Fig. 6.36)³. Alla temperatura di transizione (T_g) il polimero passa da uno stato solido simile al vetro ad uno stato gommoso, con una significativa riduzione del modulo elastico; il limite di utilizzabilità del materiale è in realtà dai 10 ai 20 °C inferiore di tale temperatura. La HDT indica piuttosto il limite rispetto al quale il materiale ha una propria stabilità dimensionale e non risente di deformazioni “plastiche” se sottoposto a carichi. Le basse temperature tendono a rendere i polimeri leggermente meno flessibili e quindi più soggetti a fatica, ma si tratta di un effetto minimo.

Tabella 6.1: Proprietà meccaniche di alcune matrici polimeriche termoindurenti (elaborazione da Bank 2006; Knippers et al. 2011)

Proprietà		Poliestere	Epossidica	Fenolica
Densità	kg/m ³	1100-1460	1110-1400	1300-1320
Modulo a trazione	GPa	2-4.5	2.3-2.9	3.1
Res.a trazione	MPa	42-68	28-91	41-62
Res. a compressione	MPa	90-186	100-175	86-103
Res. Flessione	MPa	58-117	106-129	75-117
ν	—	0.34	0.2-0.34	-
T_g	°C	100	120	-
Coeff dilat. termica	$\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	80-100	50-70	60-80

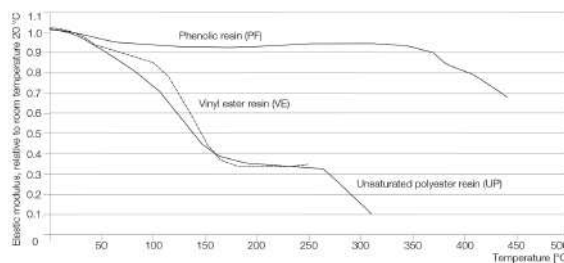


Figura 6.36: Riduzione del modulo elastico dei polimeri all’aumento della temperatura (da Knippers et al. 2011)

³La HDT è definita come la temperatura alla quale si verifica una predeterminata inflessione di una trave standard

Tabella 6.2: Livelli di conservazione delle proprietà meccaniche all'aumentare della temperatura (da Fibergrate 2009).

Proprietà	Temperatura		
	[° C]	Resina isoftalica [%]	Resina vinilestere [%]
Resistenza	38	85	90
	52	70	80
	66	50	80
	79	Non consigliato	75
	93	Non consigliato	50
Modulo elastico	38	100	100
	52	90	95
	66	85	90
	79	Non consigliato	88
	93	Non consigliato	85

Additivi

Nel processo di produzione alla matrice vengono incorporati sostanze particellari di varia natura in qualità di riempimento (filler) con diverse funzioni (Fig. 6.37): ridurre il picco esotermico durante la presa della resina, aumentare la viscosità, la durezza superficiale, la resistenza al degrado o le proprietà meccaniche, la resistenza al fuoco (ritardanti di fiamma) senza dimenticare la possibilità di ridurre il costo finale. Le particelle coloranti hanno anche la funzione di bloccare i raggi UV. I diluenti aumentano la capacità del polimero di bagnare le fibre ma riducono la temperatura massima di impiego del composito, i flessibilizzanti riducono E della resina e aumentano l'allungamento a rottura, agenti per la riduzione della propagazione dei difetti della matrice (Knippers et al. 2011).

		Tensile strength	Compressive strength	Elastic modulus	Impact strength	Reduced shrinkage	Better heat resistance	Chemicals resistance	Economy
+ to +++ Improvement in properties - Reduction in properties									
Spherical fillers	Sawdust	+			+	+			+
	Carbon black			+	+	+			
	Metal oxides			+	-	+	+		
	Calcium carbonate (chalk)		+	+	-+	+	+		++
	Kaolinite				-	+	+	+	+
	Silica			+	-	+			+
Flake-like fillers	Sand/quartz powder		+	+	-	+			++
	Graphite					+		+	+
	Talcum		+	+	-	+	+		+
	Mica	+		++	-+	+	+	+	+
Fibrous fillers and reinforcing materials	Polymer fibres				++				
	Carbon fibres	+++	+	+++	-	+	++		-
	Glass fibres	++	+	++	-+	+	++		+

Figura 6.37: Tipi ed effetti sulle proprietà del materiale degli additivi alla mescola polimerica (da Knippers et al. 2011)

6.6.2 Processi produttivi

La tecnica di pultrusione corrisponde ad una estrusione per trazione poiché le fibre, poste nella direzione maggiore dell'elemento, svolte da rocchetti vengono fatte passare attraverso la sagoma voluta tirandole, previo un bagno nella resina termoindurente che va a saturare gli spazi vuoti tra esse (*wet-out*). Il passaggio attraverso la filiera consente di rimuovere la resina in eccesso e di compattare una prima volta le fibre. Il profilo preformato viene fatto passare, a velocità dipendente dai tempi di polimerizzazione della resina, attraverso uno stampo riscaldato a temperatura crescente (*curing die*) che consente di dare la forma finale al profilo facendo attivare la polimerizzazione della resina. Alla fine della macchina di pultrusione si trovano il sistema di trazione della filiera e l'impianto per il taglio dei profili nella lunghezza voluta (Bank 2006; Fig. 6.38).

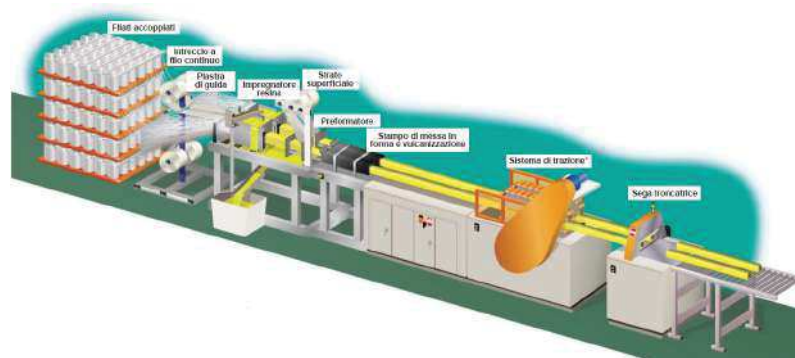


Figura 6.38: Schema del processo produttivo della pultrusione (da [59])



Figura 6.39: Struttura di un profilo pultruso in polimero fibrorinforzato (da [59])

Attorno al nucleo di fibre monodirezionali (*roving*) vengono applicati i fogli di fibre corte a giacitura bidirezionale o multidirezionale (*mat*) che hanno la funzione di aumentare la rigidità trasversale del profilo e la resistenza all'impatto e infine un foglio sottile di fibre molto corte (*surface veil*) che impedisce l'affioramento delle fibre sottostanti e assicura la loro protezione dall'esposizione alla luce e alle altre azioni ambientali venendo impregnato di resina specifica per questo scopo (Fig. 6.39). Con questo sistema di produzione è possibile regolare la quantità di fibre presenti nella sezione trasversale che in genere è variabile dal 40 a poco più del 60% e lo spessore finale degli elementi è compreso tra 2 e 20 mm per non incorrere in problemi connessi alla mancata polimerizzazione dell'intera sezione ma è

possibile salire fino a 50 mm controllando opportunamente il processo. Ovviamente non è possibile applicare ai profilati pultrusi quelle lavorazioni che vengono comunemente applicate all'acciaio come la pressatura o la piegatura a freddo.

Il procedimento risulta adeguato per la produzione di elementi, per usi strutturali o meno, a sviluppo longitudinale in parete sottile e a sezione aperta o chiusa, compresi pannelli di grandi dimensioni a sezione aperta o a celle chiuse per la formazione di impalcati di ponte e sistemi di facciata. È possibile incorporare nel processo di pultrusione, così come nella formatura dei pannelli, lamine metalliche, sfogliati di legno e tessuti che fanno corpo con le fibre grazie all'impregnazione di resina.

I profili chiusi possono essere ottenuti anche ricorrendo alla tecnica del *filament winding*, cioè l'arrotolamento della fibra impregnata attorno ad un rocchetto secondo direzioni inclinate rispetto all'asse; gli elementi che ne risultano sono particolarmente adatti a sopportare sforzi di compressione avendo le fibre disposte "a cintura" della sezione (Zoghi 2014; Fig. 6.40).

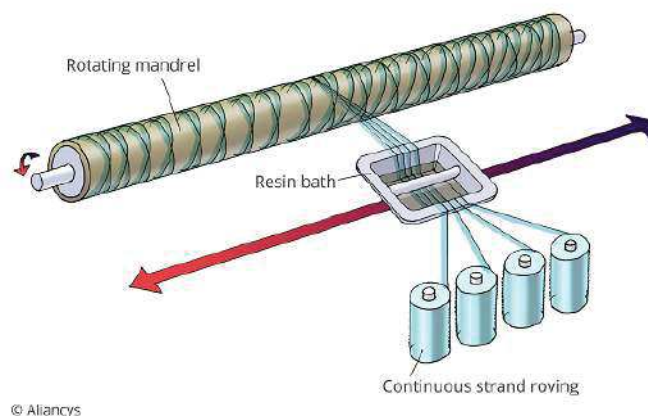


Figura 6.40: Schema di produzione di profili mediante la tecnica del *filament winding* (da [60])

Mediante stampaggio o formatura a mano è possibile ottenere pannellature o elementi sagomati di varia natura a geometria complessa o di grandi dimensioni, quali scafi di imbarcazioni o serbatoi. In questi casi le fibre sono utilizzate, se lunghe, per la formatura di tessuti con trama e ordito veri e propri, da due a quattro direzioni nel piano (*woven rovings*), oppure tessuti-non-tessuti (*continuous filament mat*), se corte per la formazione di "stuoie" multi direzionali (*chopped strand mat*). La formazione del pezzo avviene manualmente e non in modo automatico, ciò comporta che la produzione sia numericamente più limitata rispetto ai due sistemi precedenti. Le stuoie di fibre lunghe vengono impregnate di resina applicando quest'ultima a pennello, le fibre corte invece vengono spruzzate da un'apposita pistola assieme alla resina e al polimerizzante sullo stampo, risultando in un contenimento dei costi. La percentuale di fibra nei pezzi finali è in genere molto bassa (non superiore al 20-25%) e pertanto il loro uso è limitato alle applicazioni in cui le sollecitazioni sono contenute e non sono richieste rigidità elevate. Il processo di produzione avviene in questo caso a temperatura ambiente (Knippers et al. 2011; Zoghi 2014; Fig. 6.41).

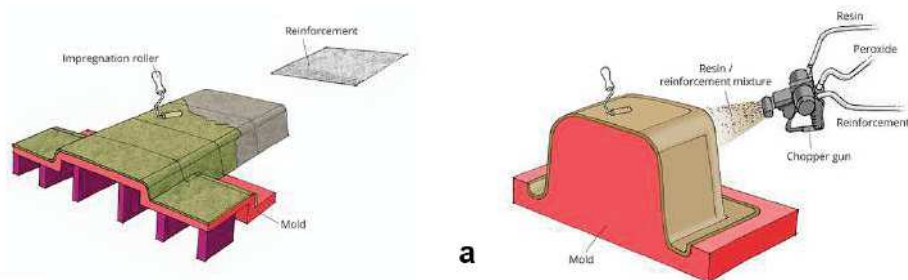


Figura 6.41: Schema di produzione di elementi bidimensionali mediante le tecniche di stampaggio: a) a mano; b) a spruzzo (da [60])

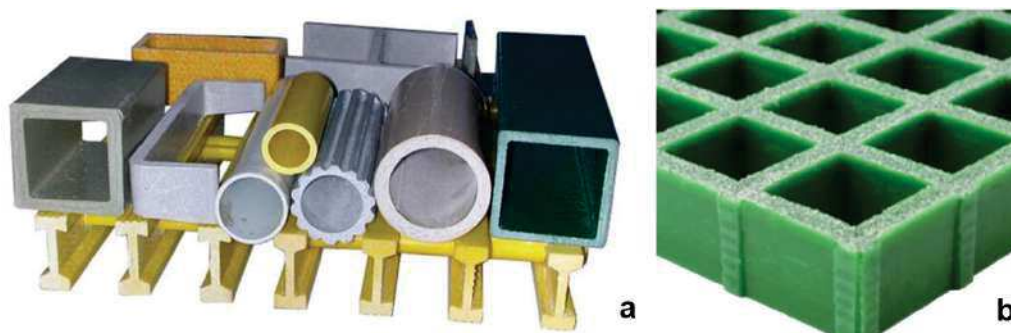


Figura 6.42: Esempi di prodotti in GFRP: a) profili strutturali e grigliati unidirezionali ottenuti da pultrusione; b) grigliati bidirezionali formati a mano (da [59])

6.6.3 Prodotti in fibra di vetro

In commercio esiste un'ampia gamma di prodotti interamente realizzati GFRP, traduzione in questa veste di oggetti più comunemente realizzati in metallo o legno. A questi si aggiungono gli elementi ricavabili dalla lavorazione dei tessuti ottenuti dalle fibre (Bank 2006; Knippers et al. 2011)

L'applicazione più tipica della pultrusione sono tutti gli elementi a sviluppo prevalentemente lineare: profilati per uso strutturale a I, H, C pannelli; profili per corrimani, protezioni di cavi e altre applicazioni non strutturali (Fig. 6.42a). Le pannellature di diverso spessore e a sezione aperta o cellulare, eventualmente completate da schiuma isolante, predisposte con dispositivi di collegamento sono spesso impiegate in sistemi costruttivi prefabbricati in associazione a profili scanalati di irrigidimento. Il collegamento tra i pannelli può essere del tipo a maschio-femmina, incollato o bullonato su linguette appositamente predisposte (Fig. 6.43).

I grigliati possono essere proprio a griglia bidirezionale a maglia quadrata oppure essere formati dall'accostamento di profilatini pultrusi rettangolari, a I o a T uniti tramite profilini passanti nei fori. I grigliati bidirezionali sono spesso ottenuti con il processo di formatura a mano su stampo aperto (Fig. 6.42b). La loro applicazione è di solito nei piani di calpestio in piattaforme o passerelle oppure nelle schermature di impianti industriali in cui ci sia il contatto con liquidi o vapori aggressivi. La superficie può essere rifinita con l'applicazione di una graniglia che fa corpo con la resina per aumentare la resistenza all'usura e l'attrito superficiale.

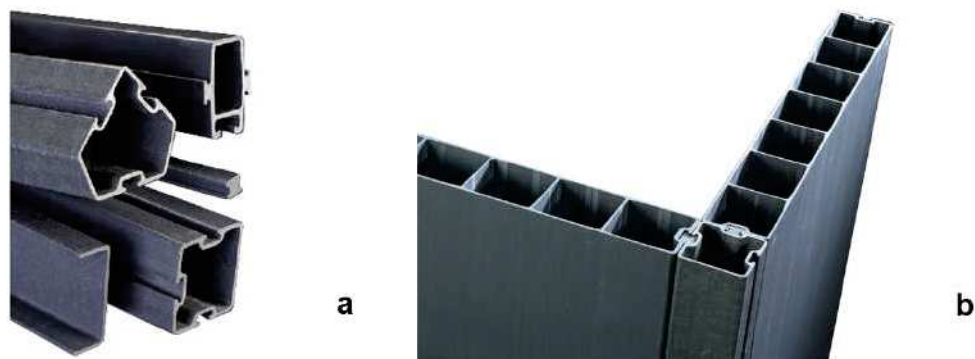


Figura 6.43: Elementi di un sistema costruttivo in GFRP: a) montanti; b) pannelli (da [59])

Un tipo molto particolare di grigliati sono quelli ottenuti per stampaggio di cemento rinforzato con fibre (*Glass Reinforced Concrete, GRC*), caratterizzati da una notevolissima lavorabilità, che lo rende adatto per la realizzazione di trame geometriche molto interessanti (Fig. 6.44).

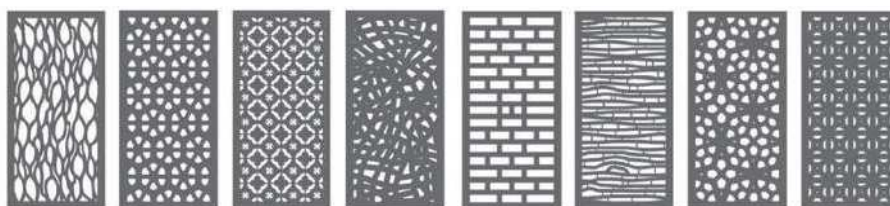


Figura 6.44: Campionario di tessiture ottenibili con il GRC (da [30])

Properties	Test Method	3/8" 16 UNC	1/2" 13 UNC	5/8" 11 UNC	3/4" 10 UNC	1" 8 UNC
Ultimate thread shear using Strongwell fiberglass nut (lb.) ①②		1,350	2,400	3,790	5,150	9,600
Max ultimate tensile load using Strongwell fiberglass nut (lb.) ②		1,050	2,000	3,100	4,500	6,500
Max ultimate tensile load using two (2) Strongwell fiberglass nuts (lb.) ②		1,470	2,800	4,340	6,300	9,700
Transverse shear on threaded rod - double shear (min. load lb.) ③	ASTM-B-565	3,000	5,000	7,500	12,000	22,000
Transverse shear on threaded rod - single shear (min. load lb.) ③		1,600	2,600	3,800	6,200	15,000
Compressive strength - longitudinal ③ (min. psi)	ASTM-D-685	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000
Flexural strength (min. psi) ③	ASTM-D-790	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
Flexural modulus (min. psi x 10 ³) ③	ASTM-D-790	2.0	2.0	2.0	2.50	2.75
Recommended maximum installation torque strength using Strongwell fiberglass nut lubricated with SAE 10W80 motor oil (ft.-lbs.) ②		4	8	16	24	50
Flammability	ASTM-D-635	Self-Extinguishing on All				
Stud weight (lb./ft.)		0.07	0.12	0.18	0.28	0.50
Thickness of nut and washer in inches		3/4"	7/8"	1-1/8"	1-1/4"	1-5/8"
Diameter of washer in inches		1"	1-1/8"	1-1/4"	1-1/2"	2"

① Ultimate strength values are averages obtained in design testing.
 ② New property categories added to better clarify stud thread shear properties.
 ③ Strength values are minimums derived from multiple production sample testings.

NOTE

- All test results are for bolts with single nuts only.
- Appropriate safety factors must be applied.
- Properties above do not apply when fiberglass stud is used with metal nut. No data has been generated for metal nuts. If metal nuts are used, strengths will be reduced because of less thread engagement. If metal nuts are used, extreme care should be taken to assure that the threads match and that a snug fit is achieved.

Figura 6.45: Proprietà meccaniche risultanti da prove su barre filettate con bulloni in polimero termoplastico; i valori sono in libbre (da [59])

Le barre filettate in fibra di vetro e resine epossidiche o vinilestere consentono di realizzare assemblaggi senza nessuna parte metallica. I dadi sono in genere in polimero termoplastico così da ottenere una maggiore solidità dell'unione. Le barre filettate sono ottenute dalla lavorazione di barre lisce e quindi la capacità portante è affidata sostanzialmente alla resina dei filetti della vite. Valori di resistenza delle barre con bulloni in plastica sono forniti in Fig. 6.45. Il loro uso è di solito molto limitato e per impieghi strutturali si preferiscono barre parzialmente filettate in acciaio inox. Le indicazioni relative alle unioni fanno sempre riferimento a collegamenti con bulloni metallici.

6.7 Comportamento meccanico e risposta strutturale

In linea generale i profili di materiale pultruso presentano caratteristiche di ortotropia, tuttavia le proprietà meccaniche differiscono solo tra la direzione longitudinale e trasversale, poiché nel piano della sezione si mantengono uguali. Per tale motivo il materiale rientra nella categoria dei materiali anisotropi trasversalmente isotropi. Pertanto nel composito è importante distinguere le tre direzioni principali del materiale imponendo la direzione 1 o X secondo la direzione della fibre (Fig. 6.46).

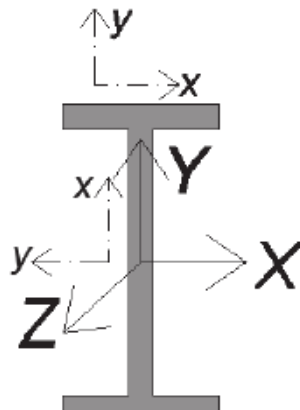


Figura 6.46: Nomenclatura delle direzioni principali (maiuscolo) e dei singoli laminati (minuscolo) componenti il profilo (da Russo et al. 2012)

La perfetta aderenza tra fibre e matrice è l'ipotesi alla base del calcolo strutturale ma l'interfaccia è comunque il parametro su cui si basa l'omogeneità meccanica del profilo e la durabilità nei confronti degli agenti aggressivi e l'impermeabilità all'acqua (Russo 2010).

Il contenuto di fibra è variabile in funzione del procedimento di formazione (Tab. 6.3):

Tabella 6.3: Contenuto volumetrico di fibra per differenti processi produttivi

processo di formazione	rapporto fibra volume
laminazione manuale	30%
stampaggio per compressione	40%
stampaggio sotto vuoto	50%÷80%
filament winding	60%÷85%

È possibile descrivere il comportamento meccanico dei materiali fibrorinforzati attraverso due approcci, micromeccanico e macromeccanico, il primo meno sofisticato del secondo ma più adeguato alle necessità ingegneristiche poiché interpreta il comportamento meccanico come somma dei contributi delle singole componenti omogeneizzandoli tra loro. Nell'approccio macromeccanico il materiale viene schematizzato come omogeneo anisotropo distinguendo le fibre e la matrice in cui risultano avvolte e potendo tenere in conto pertanto anche dell'orientamento di quello rispetto alle direzioni principali. Nell'approccio micromeccanico è sufficiente conoscere le caratteristiche tensionali e deformative delle fibre e della matrice per dedurre quelle del materiale composito.

Le prestazioni dei profili pultrusi sono massime in direzioni longitudinale, lungo le fibre, mentre sono sensibilmente minori nelle altre direzioni e in particolare in compressione, perché è solo la matrice polimerica ad esercitare il vincolo, peraltro limitato, nei confronti dello sbandamento laterale delle singole fibre.

Risulta di difficile identificazione anche il comportamento meccanico definibile in via sperimentale per effetto dell'anisotropia e della presenza delle fibre. Secondo la normativa EN 13706-2:02 i profili pultrusi per uso strutturale si possono distinguere in due categorie (E23 e E17) sulla base della corrispondenza alla qualità (Tab. 6.4)

Tabella 6.4: Caratteristiche meccaniche dei materiali pultrusi per le categorie E23 e E17 (UNI 13706)

Proprietà		Requisiti minimi	
		E23	E17
Modulo elastico longitudinale	GPa	23	17
Modulo elastico trasversale	GPa	7	5
Resistenza a trazione longitudinale	MPa	240	170
Resistenza a trazione trasversale	MPa	50	30
Resistenza a flessione longitudinale	MPa	240	170
Resistenza a flessione trasversale	MPa	100	70
Resistenza a taglio longitudinale	MPa	25	15

6.8 Progettazione

6.8.1 Criteri generali

I criteri generali di progetto sono assimilabili a quelli validi per l'acciaio ma con l'accortezza di tenere in conto l'ortotropia del materiale e il comportamento elastico lineare sino a rottura; l'ortotropia in particolare va considerata nella modellazione numerica mentre si può assumere un comportamento isotropo equivalente per le formulazioni analitiche (Correia et al. 2010).

La progettazione, in termini di sollecitazioni, deve tenere conto di (CNR DT 205):

1. Comportamento elastico lineare fino a rottura;
2. Ortotropia;
3. Entrambi i contributi di deformazione a flessione e a taglio;

4. Effetti di torsione primaria e secondaria di ingobbamento;
5. Effetti del secondo ordine;
6. Deformabilità dei collegamenti.

Oltre alle verifiche di resistenza vanno sempre assicurate le condizioni di stabilità rispetto all'attivazione di sbandamenti e svergolamenti locali e/o globali. La capacità portante a flessione risulta pertanto significativamente influenzata dalla presenza di elementi trasversali e di irrigidimento che esercitino delle condizioni di vincolo lungo l'asse della trave. Il materiale presenta una elevata deformabilità ma, a parità di prestazioni meccaniche, un peso nettamente inferiore di una struttura in acciaio ($\gamma=1800 \text{ kg/m}^3$), tuttavia nelle verifiche di stabilità il modulo elastico per la combinazione SLE quasi permanente va ridotto per effetto delle deformazioni viscosi (CNR DT 205).

Il valore di progetto della grandezza di interesse può essere ricavato da prove sperimentali oppure va ricavato da un'analisi incrementale che tenga conto delle imperfezioni introducendo i valori di progetto delle proprietà meccaniche.

La progettazione allo SLE richiede di tenere in conto la deformata al taglio, usando la teoria della trave di Tymoshenko, e anche il comportamento a lungo termine per effetto dello scorrimento viscoso della matrice polimerica (Bank 2006), la progettazione allo SLU invece chiede di tenere in conto molte modalità di collasso, che per le sezioni aperte in parete sottile si riconducono a: a) rottura a flessione (in tensione o compressione); b) taglio dell'anima; c) schiacciamento locale dell'anima; d) instabilità locale; e) instabilità flessione torsionale (Correia et al. 2010).

Il progetto allo SLU non è governato dalla resistenza del materiale bensì dall'insorgenza di fenomeni di instabilità locale o globale che conducono ad avere tensioni in opera di gran lunga inferiori alle possibilità del materiale. Si osserva la corrispondenza, per il progetto allo SLE, tra i risultati sperimentali e teorici utilizzando la teoria di Tymoshenko su travi con materiale isotropo equivalente e costanti di materiale omogeneizzate (Correia et al. 2010).

In genere il composito lavora a deformazioni prossime a quella di rottura, ciò che può essere un problema rilevante soprattutto nei compositi rinforzati col vetro, ma non in direzione delle fibre. I compositi a fibratura unidirezionale e sollecitati in direzione non sono in genere soggetti a scorrimento viscoso (*creep*) ma questo fenomeno può verificarsi in condizioni ambientali aggressive, per effetto di una produzione inadeguata (incompleta polimerizzazione, frazione volumetrica di fibra, orientamento delle fibre) ma soprattutto per l'esposizione a temperature elevate. Infine una notevole influenza sul comportamento meccanico (fino al 20-50%) può esercitare il contenuto di umidità, anche molto limitato (2-4%). Tuttavia è possibile scegliere la resina più adeguata per far fronte ad ambienti molto umidi.

Gli approcci progettuali e di verifica per le unioni sono quasi tutti di origine empirica e richiedono molte informazioni. Esistono criteri semplificati come quello Hart-Smith che considera solo carichi centrati e usa coefficienti correttivi per ricondursi dalla situazione ideale alla reale, mentre il metodo EUROCOMP è più rigoroso perché richiede di conoscere la distribuzione di tensioni attorno ai bulloni e considera in modo più realistico la geometria ma è un metodo complesso e di difficile applicazione pratica. Entrambi comunque presuppongono l'analisi ad elementi finiti (Sathishkumar et al. 2014).

6.8.2 Coefficienti di sicurezza

Il manuale di progettazione della Eurocomp suggerisce di ottenere il coefficiente riduttivo dalla moltiplicazione di tre coefficienti parziali, relativi: a) metodo di ottenimento delle proprietà meccaniche; b) processo produttivo; c) esposizione ambientale e durata del carico; il valore finale è compreso tra 1,5 e 10. Se le proprietà del materiale, nel suo complesso, vengono determinate per via teorica o sperimentale, γ_{f1} vale 1,5 o 1,15 rispettivamente; per materiali pultrusi poi γ_{m2} va posto pari a 1,1; per carichi a breve termine con resine che garantiscano una temperatura di transizione attorno ai 90 C per condizioni di esercizio comprese tra 0 e 50 C, si trova $\gamma_{m3} = 1,1$ al massimo; nelle stesse condizioni, per il lungo termine risulta $\gamma_{m3} = 2,5$. Nel complesso, si ha $\gamma_m = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 1,82$ che, a fini progettuali, può essere tranquillamente posto pari a 2.

Analogamente la CNR DT 205 ottiene il coefficiente di sicurezza sul materiale, γ_f dal prodotto di due coefficienti parziali, γ_{f1} e γ_{f2} , che tengono conto l'uno del livello di incertezza nella determinazione delle proprietà del materiale, l'altro dell'esigenza di porsi ad un adeguato margine rispetto al comportamento fragile del composito. Se γ_{f2} viene posto pari a 1,30, γ_{f1} è variabile e compreso tra 1,10 e 1,15 a seconda del coefficiente di variazione del valore caratteristico delle proprietà meccaniche determinato tramite le prove sperimentali. Per gli stati limite di esercizio il coefficiente parziale del materiale suggerito è pari a 1. Si tenga conto che tale norma prevede anche un "fattore di conversione η dipendente dalle condizioni ambientali cui è esposto il profilo e dalla durata di applicazione del carico. Rispetto alle condizioni ambientali, se sono previsti adeguati rivestimenti protettivi che si mantengano inalterati per tutta la vita utile della struttura, il coefficiente può essere preso unitario; rispetto alle condizioni di carico, vanno distinti azioni quasi permanenti e i carichi ciclici, distinguendo inoltre tra SLE e SLU. Il fattore di conversione finale è determinato ancora una volta come prodotto dei due fattori parziali.

Più cautelative sono le norme di ambito anglosassone. Ad esempio, alcuni produttori americani suggeriscono i seguenti fattori di sicurezza riportati in Tab. 6.5:

Tabella 6.5: Coefficienti di sicurezza consigliati da Fibergrate 2009

Parametro	γ
Resistenza a flessione	2.5
Resistenza al taglio	3
Resistenza a compressione	3
Resistenza a trazione	3
Capacità portante	4
Unioni	4

6.8.3 Sismica

Allo stato attuale sembrano mancare specifiche indicazioni normative e di letteratura per la progettazione sismica di strutture interamente in GFRP se si escludono le indicazioni provenienti dal gruppo di ricerca dell'Università IUAV guidato da S. Russo (Boscatto et al. 2015; Boscatto e Russo 2014; Russo et al. 2012). Le sperimentazioni su strutture reali (Fig. 6.47) di tipo reticolare hanno evidenziato un comportamento caratterizzato da notevole rigidità, attribuito ad un sovradimensionamento dei profili previsto dalle indicazioni

progettuali esistenti, e sostanzialmente elastico. Il peso ridotto e un periodo di primo superiore a 0,5 rendono inoltre queste strutture poco sensibili alle accelerazioni sismiche. Dal punto di vista dinamico risulta che lo smorzamento dei profili singoli, delle sezioni composte e della struttura intelaiata o reticolare piana nel complesso sono abbastanza simili e inferiori al 5% (Boscato 2009; Boscato et al. 2015), così come il fattore di struttura utilizzato per la progettazione risulta di poco superiore a 1. Tuttavia utilizzando uno schema di tipo reticolare con controventi a X invece che a K è possibile incrementare il fattore di struttura sino a valori significativi, compresi tra 2,5 e 5,5. Ciò è possibile mettendo in gioco componenti non-lineari a livello geometrico globale della struttura poiché il materiale risulta elastico fino a rottura (Boscato e Russo 2014). In tutte le valutazioni numeriche è necessario considerare la deformabilità al taglio degli elementi (Boscato et al. 2015).



Figura 6.47: Viste esterne e interne dell'intervento di copertura provvisoria con una struttura in FRP della chiesa di S. Maria Paganica a L'Aquila (da Russo et al. 2012)

6.8.4 Profilati ed elementi lineari

I limiti di deformabilità per gli elementi del tetto sono fissati in $L/180$ e per gli elementi orizzontali reggipannello in $L/120$ grazie alla resilienza del materiale (Fibergrate 2009). Poiché la rottura degli elementi strutturali in composito avviene in modo completamente fragile è necessario assicurarsi che si manifesti preventivamente uno degli stati limite di esercizio (deformazione o vibrazioni eccessive, instabilità, danno locale per impatti o per eccessiva tensione locale che espongono il materiale al degrado) in modo da "preavvisare" dell'imminente collasso.

La progettazione e il calcolo delle membrature deve passare attraverso l'omogeneizzazione del materiale ortotropo ad uno isotropo: il metodo rigoroso prevede di calcolare la matrice di rigidezza dell'elemento lineare partendo dalle caratteristiche della sezione (Bank 2006) tuttavia è anche possibile ricorrere a formulazioni più semplici (Correia et al. 2010). In ogni caso va sempre considerata la deformabilità al taglio dell'elemento.

Sembra che la soluzione progettuale migliore consista nei profili composti: a C accoppiati mediante fazzoletti d'anima oppure a I con irrigidimenti agli estremi ottenuti dall'accoppiamento di 4 profili a C mediante bulloni (Boscato et al. 2015).

6.8.5 Unioni

I collegamenti possono essere bullonati (con elementi in acciaio inox), incollati o misti con bulloni e incollaggio, avendo cura di verificare l'orientazione delle fibre rispetto alla direzione delle sollecitazioni e di esplorare tutte le modalità di crisi degli elementi connessi. Per le condizioni di carico quasi permanente, la valutazione degli spostamenti deve essere eseguita assumendo valori dei moduli di elasticità ridotti per effetto delle deformazioni viscosi.

Per quanto riguarda le unioni, il coefficiente di sicurezza va determinato di volta tramite dei fattori parziali moltiplicativi il cui valore dipende dal tipo di unione (incollaggio o bullonatura) e dalle caratteristiche della stessa (modalità di posa, condizioni di carico e di esposizione ambientale). Le unioni rappresentano un limite notevole per le strutture interamente in GFRP per la discontinuità strutturale che rappresentano ma soprattutto per la concentrazione di tensione.

A differenza dell'acciaio, nei collegamenti in FRP non avviene lo snervamento locale in corrispondenza dei elementi di collegamento ma è più facile che si manifesti una rottura per schiacciamento; per ragioni analoghe non è possibile ricorrere alle unioni ad attrito. Nelle unioni incollate invece molto dipende dall'abilità della manodopera nella preparazione della superficie e nel trattamento dell'adesivo.



Figura 6.48: Giunti di telai strutturali tipo *stick-built* suggeriti dalla ditta americana Strongwell (da Mottram 2009)

La delicatezza delle unioni strutturali nelle strutture in composito è da attribuire alla notevole concentrazione di tensioni presso i fori, all'assenza di snervamento, e alle molte modalità di rottura (trazione della sezione netta, taglio del piatto, rifollamento, clivaggio cioè la frattura del materiale). Gli esperimenti hanno dimostrato che la rigidezza iniziale è determinata dalla rigidezza dei singoli componenti (squadrette, piatti) più che dai bulloni i quali difficilmente sono tali da arrivare al collasso prima del composito e quindi rimangono sempre in campo elastico. Sempre le evidenze sperimentali hanno dimostrato che in unione con squadrette in GFRP sono proprio queste ultime a governare il collasso che avviene nella curva di raccordo (Feroldi e Russo 2016). Nei collegamenti bullonati gli sforzi agenti nei singoli bulloni non possono essere valutati con semplici criteri di equilibrio come nei materiali duttili. I bulloni possono essere solo in acciaio inox (CNR DT 205) e se sollecitati al taglio devono avere tutti lo stesso diametro ed almeno due devono essere nella direzione del carico. Il diametro minimo dei bulloni è pari allo spessore

del più sottile pezzo collegato, il massimo ad una volta e mezzo lo stesso. La resistenza dell'unione dipende più dal numero di bulloni su una fila che sul numero di file, poiché la rottura avviene quasi sempre sulla prima.

Le diverse normative prevedono limitazioni sulle dimensioni e la disposizione dei bulloni come di seguito riportato (Tab. 6.6):

Tabella 6.6: Limitazioni sulle caratteristiche geometriche dei giunti bulloni secondo la CNR DT 205

Diametro dei bulloni (consigliato)	$t_{min} \leq d_b \leq 1,5t_{min}$ $d_b \geq 1,5t_{min}$
Diametro dei fori	$d \leq d_b + 1$
Diametro della rondella	$d_r \geq 2d_b$
Interassi tra i fori	$e_x \geq 4d_b$ $e_y \geq 4d_b$
Distanza dai bordi	$e/d_b \geq 4$ $s/d_b \geq 1/2 \cdot e_y/d_b$

Dove t_{min} è lo spessore dell'elemento più sottile del collegamento, d_b il diametro del bullone, d quello del foro e le direzioni x e y normale e parallela rispetto alla forza sollecitante. Il bullone non deve entrare forzatamente nel foro ed è opportuno che disporre delle rondelle rigide sotto la testa sia del bullone che del dado per ripartire meglio gli sforzi; il gioco tra foro e bullone è al massimo di 1 mm. Inoltre i bulloni vanno serrati in modo da assicurare la diffusione degli sforzi nel profilo ma tale diffusione va trascurata in sede di verifica. Il diagramma momento-rotazione dell'unione diviene non lineare per il danno progressivo ai profili portanti. Si deve cercare di arrivare al collasso per rifollamento del piatto collegato, poiché è l'unico che possa essere considerato duttile (Bank 2006; Mottram 2009). Tutte le altre modalità dovrebbero essere evitate perché fragili (Fig. 6.49).

textciteferoldi2016 hanno riscontrato il buon comportamento, rispetto a schemi di uso corrente per i materiali compositi in uso strutturale, di un giunto trave-colonna realizzato tramite una piastra in FRP interposta tra i doppi profili a C formanti la struttura (Fig. 6.50).

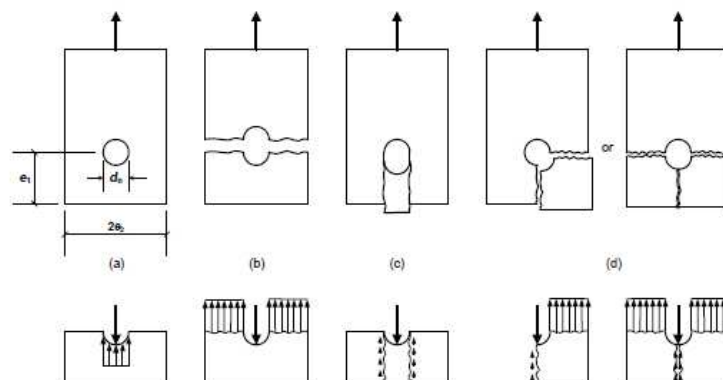


Figura 6.49: Modalità di collasso delle unioni bullonate su materiali pultrusi: a) schiacciamento locale; b) strappo a trazione; c) espulsione per taglio; d) fenditura (da Mottram 2009)

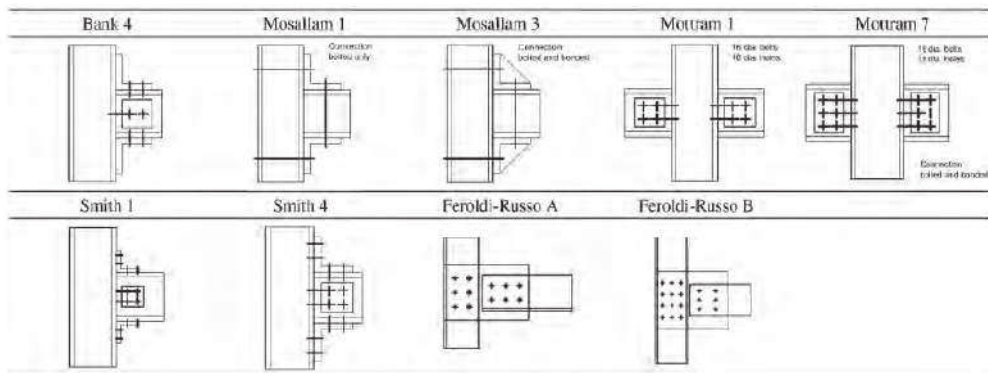


Figura 6.50: Diversi tipi di unioni proposti in letteratura per le strutture in GFRP (da Feroldi e Russo 2016)

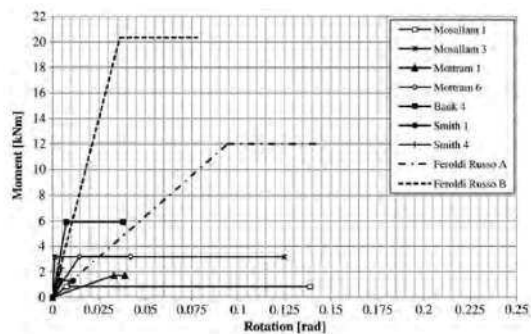


Fig. 20. Comparison of bilinear moment-rotation curves obtained from experimental tests and some curves reported in the literature

Figura 6.51: Grafico Momento-curvatura delle diverse unioni illustrate nella figura precedente (da Feroldi e Russo 2016)

In questo modo è possibile ottenere una sorta di “gerarchia delle resistenze” con un minimo di duttilità ($\mu=1,3$) e di indurre il danno principalmente nella piastra di collegamento rispetto ai profili collegati. È necessario applicare precaricare leggermente l’unione per assicurare il contatto tra gli elementi del giunto ed evitare danneggiamenti indotti dal bullone sul foro in direzione ortogonale alle fibre. Non ci sono riferimenti normativi per la coppia da applicare per ottenere il precarico, se non indicazioni di letteratura (cfr. Feroldi e Russo 2016). La modalità di collasso è del tipo a rifollamento o per taglio della piastra, modalità che sono ritenute “duttile” nell’FRP. Infine la presenza del fazzoletto fa sì che la rigidità dell’unione dipenda dalle caratteristiche di quest’ultimo più che dei profili collegati. La rigidità del giunto (Fig. 6.51) è risultata sostanzialmente analoga a quella misurata in altri esperimenti ma la resistenza è risultata 20 volte superiore. Gli stessi studi hanno evidenziato l’inadeguatezza delle soluzioni esistenti con squadrette in pultruso poiché sono soggette a schiacciamento locale: se si volesse ricorrere a tale soluzione sarebbe dunque più opportuno utilizzare squadrette in acciaio (Fig. 6.50)

6.9 Osservazioni conclusive

Il capitolo ripercorre le soluzioni tecnologiche esistenti per la realizzazione delle coperture allo stato attuale, in rapporto agli aspetti critici individuati nei due capitoli precedenti.

Lo studio avviene seguendo la classica scomposizione dell'edificio dal basso verso l'alto in unità tecnologiche (struttura portante, chiusura verticale e orizzontale) e in elementi tecnici (fondazioni, strutture in elevazione verticali e orizzontali, pareti perimetrali, coperture).

Di ciascun elemento viene presentato il quadro dello stato dell'arte secondo le situazioni più diffuse in Italia, riscontrando ancora notevoli criticità, sia nell'aspetto formale che in quello conservativo. La revisione critica si conclude con la descrizione di alcune esperienze recenti di intervento sul sito archeologico che hanno fatto tesoro di una campagna di valutazione della copertura preesistente e di raccolta dei dati climatici. La validazione delle soluzioni adottate al momento non è ancora disponibile in letteratura.

Tuttavia nessuna delle soluzioni può dirsi vicina a quell'"ottimo" formale e conservativo auspicato dalla procedura valutativa illustrata in precedente. Perciò si vogliono approfondire un tipo strutturale apparentemente più promettente e un materiale da costruzione innovativo nell'ottica di un avvicinamento alla situazione ideale.

Tra quelle analizzate, le strutture reticolari spaziali, già applicate alla copertura di siti archeologici, riscuotono interesse soprattutto per gli aspetti di leggerezza, uniformità, robustezza e capacità di coprire grandi luci senza sostegni intermedi. Tuttavia l'analisi dei casi esistenti evidenzia la necessità di un miglioramento degli aspetti formali e di finitura del sistema.

Il materiale innovativo, rappresentato dai polimeri rinforzati con fibra di vetro (GFRP) offrono interessanti proprietà che permettono di risolvere molti problemi di durabilità proposti dai materiali tradizionali. L'analisi del comportamento strutturale, peculiare a causa dell'ortotropia del materiale, rivela la sua difficile applicabilità al tipo della reticolare spaziale.

Ad un successivo capitolo spetterà pertanto il compito di proporre soluzioni tecniche in grado di combinare il tipo strutturale con questo particolare materiale.

Parte II

Sviluppo e applicazione di un sistema costruttivo multifunzionale

Capitolo 7

La scelta di un ambito di studio. L'edilizia domestica romana: caratteri sociali e impianto planimetrico

Delle culture stanziata nell'Italia antica e delle loro tracce (richiamate al Cap. 2), quella romana è senza dubbio la più ricca e completa di testimonianze in rapporto alle superiori capacità tecniche e costruttive.

La casa romana rappresenta pertanto un ritrovamento sostanzialmente ubiquitario nel territorio italiano e, in rapporto alle fonti, è caratterizzato da caratteri strutturali dello spazio solidi e relativamente costanti nel tempo. Ciò permette potenzialmente di utilizzare questo particolare tipo di edificio come un modo per avere un dato di base simile distribuito in diverse aree del territorio nazionale.

Lo studio attento delle fonti e soprattutto l'analisi dei ritrovamenti archeologici affrontati nel presente capitolo fanno tuttavia capire che il quadro è in realtà molto più complesso di quanto appaia.

7.1 Il problema archeologico

«Le varianti e le modifiche portate a questo schema [della domus] sono poche, consistendo soprattutto nei diversi procedimenti di copertura dell'atrio — Vitruvio distingue cinque diversi tipi di atrio — nel modo di raggruppare gli ambienti minori attorno ad esso e, infine, nell'aggiunta di elementi quali i vani che vengono a disporsi talora ai lati dell'ingresso — *tabernae* —, sulla strada e gli ambienti elevati al di sopra del tetto compluviato — *cenacula* ».

« L'immagine vigente dell'abitazione romana è troppo poco differenziata rispetto ad una realtà complessa, fluida, e soggetta a condizionamenti vari in tempi e luoghi diversi ».

I punti di vista espressi rispettivamente da Staccioli (1959) e da De Vos (1992), chiariscono il radicale cambio della posizione critica nell'arco di cinquant'anni e l'argomento è tutt'ora

lungi dall'aver ricevuto un'impostazione definitiva.

Il capitolo offre una sintesi delle fonti scritte e dei ritrovamenti archeologici per cercare di fornire un inquadramento del tema il più possibile completo, a livello storico ma soprattutto concettuale che serva di premessa alla ricerca svolta nel prossimo capitolo.

In particolare si cercherà di dimostrare come, al di là dei condizionamenti fisici e del contesto geografico, l'abitazione romana, intesa nella sua espressione "tipica" della casa ad atrio, soggiaccia a prescrizioni che esulano dalle immediate necessità della vita, al punto da determinarne in modo ricorrente, ancorché variabile, l'impianto architettonico e la struttura spaziale.

La correttezza dell'interpretazione archeologica si fonda, tra le altre, sull'analisi stratigrafica e sull'identificazione dei reperti che restituiscono le cronologie e la funzionalità degli spazi del passato. Non potendo eseguire questo tipo di ricerca per ciascuno degli edifici presentati in questa tesi, si fa ricorso alle fonti e alla letteratura già disponibile, per dare un nome e un ruolo agli spazi; in altri termini per ottenere quanto non è deducibile direttamente dalle planimetrie, oggetto del cap. 8.

7.2 I significati dell'abitare

I ritrovamenti archeologici sanno dare indicazioni, in casi fortunati e in scavi ben eseguiti, in merito alla funzione antica degli spazi e alla cronologia della loro configurazione. Per poter tuttavia comprendere il significato che quegli spazi dovevano avere per l'antico fruitore è necessario armarsi di una buona fantasia e cercare di immaginarli prima della loro scomparsa, anche grazie al ricorso alle fonti scritte.

La letteratura latina purtroppo non ci espone direttamente il concetto dell'abitare antico ma lo fa attraverso le descrizioni della vita che quotidianamente si svolgeva nelle case dei ricchi e dei potenti e un unico trattato di architettura. Nel quadro che si delinea la casa romana risulta centro di comunicazione sociale e di ostensione di sé: la facciata, l'ingresso, le decorazioni, l'ampiezza degli spazi, lo sguardo concesso fino nell'intimità della casa rivelano ed esaltano lo *status* del proprietario. Zanker (1993) propone il concetto della «forma simbolica dell'organizzazione spaziale» come manifestazione di una caratteristica sociale: così come la città è determinata dal modo di essere e di vivere di suoi abitanti e di rimando essa ne determina gli atteggiamenti, perché diffonde messaggi e valori; allo stesso modo, l'aspetto, l'arredo e la decorazione della casa, sono espressione del proprietario che si identifica con quanto messo in mostra per il visitatore.

Addirittura Wallace Hadrill (2015) di fronte alla grandissima varietà espressa dalla casa romana, conclude che quanto è in grado di "fare una casa" nell'antica Roma, cioè quanto meritava di essere definito come "*domus*", non è tanto l'impianto planimetrico quanto la capacità di poter ricevere visite e impressionare. Chiaramente questo è vero per la casa degli strati più alti della società e di chi voleva a loro assimilarsi, tuttavia è una chiave di lettura che dovrà essere tenuta presente per la definizione del sostrato portante dell'architettura domestica romana.

7.2.1 Le fonti letterarie

L'abitazione dell'uomo non solo deve assolvere ai bisogni immediati di chi la abita ma può anche rispondere ad esigenze morali, culturali o religiose, in altre parole a "significati" diversi dalla quotidianità, i quali la rendono un ambiente codificato e spazialmente strutturato. Ciò è tanto più vero quanto più è alto il livello sociale degli abitanti, poiché questi possiedono gli strumenti intellettuali necessari a riflettere su contenuti non collegati alle esigenze della vita (Caniggia e Maffei 1979), ma non è detto che essi siano in grado di riconoscerne chiaramente i motivi e l'ascendenza. È quanto accade per la casa romana, la *domus*, della quale molti di questi aspetti, tra cui il cruciale tema dell'origine, non possono essere risolti definitivamente né per mezzo delle fonti antiche, che tacciono o male interpretano molte questioni, né per mezzo dei ritrovamenti archeologici, che ancora non hanno restituito l'archetipo.

Gros (2001) nota che nessuno dei termini con cui in latino si individua solitamente la casa sia direttamente connesso al suo aspetto tecnico-costruttivo, bensì rimandi proprio ai significati "altri" in essa riconosciuti. Così, il termine *aedes*, legato al greco *αἶθω*, indica il focolare domestico implicando un senso di sacralità: esso, al singolare, indica il tempio e, al plurale con accezione collettiva, la casa. *Domus* fa riferimento alla stessa radice indoeuropea da cui deriva *dominus*, implicando il senso di famiglia tramite il suo esponente più rappresentativo, il patriarca; allo stesso ambito appartiene *domicilium*, indicante la consistenza fisica della casa. Sarebbe invece errato, come ritenuto dalle interpretazioni più datate (cfr. Buti 1962), riferire *domus* al termine indoeuropeo connesso alla costruzione (*δῆμο*). Infine, la parola greca utilizzata per indicare la casa (*οἶκος*), dalla cui radice in latino si trovano *vicus*-borgo e *vicinus*-confinante, implicando il senso di un gruppo di case legate da rapporti umani stabili ed organizzati (Buti 1962) può essere tradotta correttamente con *familia*; solo in epoca tarda se ne utilizzerà la traslitterazione, *oecus*, per indicare sale per banchetti o di soggiorno presenti nelle dimore di rango più elevato.

Le sole parole riferite ad un aspetto materiale della casa sono il "tetto", usato per sineddoche in poesia, per sottolineare la componente affettiva, e l'atrio (*atrium* o *cava aedium*), quale elemento distintivo dell'edificio che è invece di uso nella prosa.

Analogamente ad altre culture mediterranee antiche, la casa romana si articola in effetti attorno ad una corte, forse inizialmente coperta e poi scoperta, detta atrio, circondata da ambienti minori coperti. L'analisi delle parole collegate a questo spazio aiuta solo parzialmente ad individuarne la funzione, ma non fornisce informazioni sufficienti né per ricostruirlo esattamente né per individuarne l'origine, problematica per gli stessi Romani. Tra le varie possibili, l'etimologia prevalente nelle fonti è la derivazione da *ater*, nero, (De Albentis 1990; Zaccaria Ruggiu 1995) come già suggerito da diversi autori antichi, precedenti e successivi a Vitruvio, che accennano all'annerimento del fumo sulle pareti e all'abitudine di utilizzare questo spazio per preparare ricevere i pasti¹. Buti (1962), riprendendo i temi della sacralità dello spazio abitativo, riconduce l'atrio agli "stipiti della

¹Servio, nei suoi commenti all'Eneide, spiega che l'atrio (*In Vergilii Aeneidos Libri, I, 726*): «Atrium enim erat ex fumo» mentre Seneca accenna alle *imagines fumosae* degli antenati. Dell'abitudine di mangiare all'aperto e sotto gli occhi di tutti parlano Catone, Columella e Valerio Massimo nell'esaltare la morigeratezza di costumi dei progenitori, in contrasto con la *luxuria* loro contemporanea. La commistione di funzioni svolte nell'atrio, di ricevimento e domestiche, è evidenziato dalla compresenza a Pompei di statue ed edicole religiose assieme a armadi e bauli contenenti oggetti d'uso quotidiano (Allison in Dobbins e Foss 2007.)

porta” o, più chiaramente, alle ante del tempio-casa indoeuropeo, o comunque greco e latino, indicando lo spazio intermedio tra il *dentro* della casa e il *fuori*, posto davanti all’ingresso dell’abitazione che finisce poi con l’essere inglobato nella casa. Le posizioni più recenti ritengono che *atrium* sia parola più antica di *cava aedium*, per riferirsi all’unica sala dell’antica abitazione italica (*De Architectura*) e che sia dunque da avvalorare l’etimologia varroniana che la riconduceva alla città tuscia di *Atria-Adria* (cfr. *infra*).

Questi brevi accenni alla terminologia permettono già di individuare i limiti entro i quali si muove la casa latina, almeno delle élite aristocratiche: la religione, la famiglia e i riti sociali (Gros 2001). Non è un caso che la parola latina e poi italiana *casa* indichi la capanna o il ricovero degli strati sociali inferiori².

7.2.2 Vitruvio e le fonti

L’Antichità ci ha tramandato un unico testo espressamente dedicato all’arte del costruire, la nota opera di Vitruvio, assieme ad un certo numero di saggi inseriti in opere di varia erudizione, da Varrone a Plinio, passando per Catone, Columella e Pompeo Festo³.

Esclusa questa seconda categoria di opere, che raccolgono tradizioni e notizie senza tuttavia padroneggiare la tecnica, il giudizio sull’opera di Vitruvio è contrastante e tendenzialmente negativo, ora perché mancante di riferimenti agli aspetti pratici del costruire (cfr. Lugli 1957) ora perché orientato alla precettistica e a riportare informazioni che oggi si valutano superate per l’epoca della stesura⁴. Vitruvio sembra comunque applicare un sistema formalistico (*ratio*), ricavato dai canoni greci ellenistici, a una tradizione costruttiva (*consuetudo*) a quelli precedente e, di fatto, indipendente, in cui l’uso di regole proporzionali avveniva in modo non codificato (Wallace Hadrill 2015). Tuttavia, nonostante un’impostazione sostanzialmente accademica, non manca l’interesse per questioni a carattere tecnico come il comportamento delle murature sottoposte al carico o gli effetti sulle stesse dell’insufficienza dei pluviali.

Le fonti concordano nel consegnarci l’immagine della casa romana di alto livello in cui la componente pubblica è un fattore determinante nell’organizzazione dello spazio: essa non è il rifugio dell’uomo pubblico dalla folla ma la sua cornice migliore, in cui si mostrano l’importanza della famiglia, i trionfi in battaglia o semplicemente la ricchezza, sotto lo sguardo degli antenati, dei Lari e dei Penati, che ne legittimano il potere⁵. Questa peculiare

²Tito Livio, nel raccontare l’invasione gallica di Roma del 390 a. C., individua con poche pennellate la sostanziale differenza, descrivendo i Galli che si aggirano per la città intimoriti dalla vista, attraverso le porte delle case lasciate aperte, dei patrizi le cui vesti e la compostezza ricordavano più quelli di divinità che di uomini; la plebe al contrario, impaurita, si era rinchiusa nelle proprie. *Ab Urbe Condita*, V, 41: «Ubi eos, plebis aedificiis obseratis, patentibus atriis principum, maior prope cunctatio tenebat aperta quam clausa inuadendi; adeo haud secus quam uenerabundi intuebantur in aedium uestibus sedentes uiros, praeter ornatum habitumque humano augustiorem, maiestate etiam quam uoltus grauitasque oris prae se ferebat simillimos dis».

³Rispetto alle altre più note, si presenta qui la sola figura di Sesto Pompeo Festo, erudito del II sec. d. C. e autore del commentario alfabetico intitolato *De uerborum significatione* in cui raccoglie fonti più antiche e per noi perdute.

⁴Il trattato di Vitruvio è stato scritto verosimilmente nel decennio tra il 40 e il 30 a.C.; cfr. ad es. Adam (1990) e l’edizione di S. Ferri (2010) al *De Architectura* (cfr. bibliografia).

⁵Busana 2018. Zaccaria Ruggiu (1995) affronta diffusamente il tema della sacralità dello spazio dell’atrio, mentre per il ruolo sociale si rimanda allo scritto di Wallace-Hadrill (1994). Per quanto riguarda la mancanza di intimità, Velleio Patercolo riferisce l’episodio del contrasto tra *dominus* e architetto poiché quest’ultimo

caratteristica, si consolida proprio nel periodo in cui Vitruvio intraprende la stesura del trattato: quella fine della Repubblica in cui le tensioni politiche porteranno al nuovo sistema del potere imperiale. Non è da escludere pertanto che le fonti ci tramandino l'ottica di un periodo molto preciso della storia antica, che gli autori successivi si sono limitati a riprendere (Wallace Hadrill 2015).

L'atrio diventa quella parte dell'abitazione che, pur se di proprietà privata, è accessibile anche agli estranei non invitati, a chi non appartiene alla famiglia o alla cerchia di amici e che rientra nel novero dei *clientes*; cubicoli, bagni e peristili tendenzialmente sono spazi a carattere più intimo, ma anche questi sono messi a disposizione dei più intimi, se invitati. Non è insolito pertanto che, ben presto, oltre alle relazioni personali e sociali, in casa si intrattengano rapporti di affari e, ben presto, quelli politici. Nella tarda Repubblica parte consistente dell'attività politica si svolge nelle case dei maggiorenti invece del foro, attirandosi gli strali dei sostenitori degli antichi costumi (Coarelli 1983; Zaccaria Ruggiu 1995). Vitruvio dunque considera normale la presenza di basiliche, sale per banchetti e giardini dove si possano tenere riunioni pubbliche o tribunali, e la gente comune o gli habitués (i *clientes*) di casa possano manifestare la devozione per il *dominus* nella consuetudine della *salutatio* mattutina⁶. Gli ambienti a carattere pubblico si collocano a fianco degli spazi dedicati ad un'esistenza raffinata, in cui il rimando greco non fa altro che impreziosirli, e rimangono collegati da spazi aperti, i peristili (Wallace Hadrill 2015).

Al contrario, nella casa della persona comune tutti questi ambienti non hanno ragion d'essere e, addirittura, non vi sarebbe ragione nemmeno per l'atrio, in quanto spazio pubblico di ricevimento, semplicemente perché è il cliente che deve recarsi in visita dal *patronus* e non viceversa⁷.

Vitruvio e gli altri autori descrivono pertanto diverse tipologie di atrio, in rapporto all'epoca di costruzione, all'effetto architettonico desiderato e alla disponibilità economica dei proprietari. La terminologia usata non è sempre delle più chiare e l'interpretazione di certi termini lascia aperte più interpretazioni per la configurazione della stessa struttura. Secondo le fonti (*De Architectura*; *De Lingua Latina*), si possono trovare case ad atrio⁸:

Compluviatum. con apertura centrale e falde convergenti verso l'interno;

Compluviatum erectum. definito anche *displuviatum* da Vitruvio con apertura centrale, eventualmente provvisto di una sorta di lanterna in sommità e falde divergenti a padiglione;

Testudinatum. termine usato da Varrone per il tetto a quattro falde senza aperture;

non accondiscende alla volontà di quello di «comporre la mia casa cosicché tutto quello che io faccio sia sotto gli occhi di tutti». Spunti analoghi si trovano in Cicerone (*De Domo*) e in Seneca nel *De Clementia* dove si manifesta la sostanziale pubblicità della vita anche privata dei personaggi di rilievo.

⁶*De Architectura*, VI, V, 1-2: «Nobilibus vero, qui honores magistratusque gerundo praestare debem officia civibus, faciunda sunt vestibula regalia alta, atria et peristylia amplissima, silvae ambulationesque laxiores ad decorem maiestatis perfectae»; sul tema cfr. anche Zaccaria Ruggiu (1995). Per la disamina degli spazi di riunione nella casa romana e la corrispondente bibliografia, cfr. Russel 2015; per quanto riguarda i "tribunali", molto probabilmente in origine si trattava di giudizi interni alla famiglia connessi all'autorità del patriarca, cfr. Perry 2015.

⁷*De Architectura*: «Igitur his qui communi sunt fortuna, non necessaria magnifica vestibula nec tabulina neque atria, quod in aliis officia praestant ambiundo quae ab aliis ambiuntur».

⁸Si rimanda anche alle note di S. Ferri di commento al passo VI, III del *De Architectura*.

Devexum, pectinatum, displuviatum. completamente chiuso a due falde a capanna senza specificare se la linea di colmo sia parallela od ortogonale al lato d'ingresso.

cui corrispondono secondo i commentatori case ad atrio:

Compluviato in cui le quattro falde del tetto convergono verso l'interno della casa lasciando scoperta una porzione (impluvio) destinata a raccogliere l'acqua. Esiste un certo dibattito se questa soluzione sia da ascrivere già alle prime fasi della casa ad atrio o sia un miglioramento di una soluzione preesistente. È un tipo che può essere messo in relazione con un ambiente di vita mediterraneo, in cui è necessario raccogliere e accumulare l'acqua che di solito scarseggia.

Displuviato cui Vitruvio si riferisce parlando di "case invernali". In questo caso sembra di capire che l'acqua viene allontanata dalla pendenza verso il perimetro mentre le travi salgono verso il centro, consentendo per giunta una migliore illuminazione degli ambienti interni⁹. Ne risulterebbe così una configurazione "a padiglione", documentata da alcune tombe etrusche, ad esempio quella di Mercareggia, e dalle urnette cinerarie, dove appare completata da un lanternino forse per impedire alla pioggia di entrare (Boethius e Ward-Perkins 1970; De Albentis 1990).

Testudinato Quest'ultima variante è ricordata solo per un breve accenno da Vitruvio, che la dice utilizzabile solo per carichi ridotti e per ricavarci ambienti anche in prossimità delle travature e da Varrone nel riferirla alla tenda da campo¹⁰. In forza dell'accenno di Varrone, per motivi lessicali vista anche l'esistenza di sinonimi (*devexum, pectinatum*), questo sistema dovrebbe indicare il tetto a due spioventi a capanna, rintracciabile a livello archeologico e forse ritenuto superato all'epoca di Vitruvio a favore della versione a quattro falde.

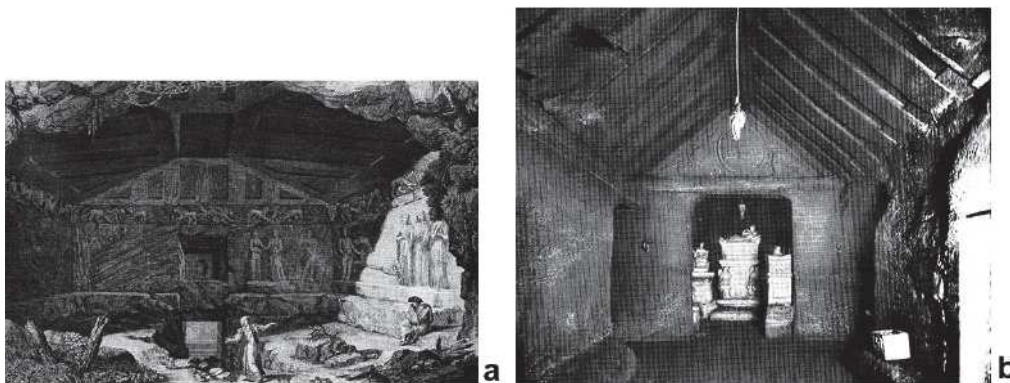


Figura 7.1: Tipi di tetto: a) displuviato: tomba della Mercareggia; b) testudinato: tomba dei Volumni (da Boethius e Ward-Perkins 1970)

⁹*Architettura*, VI, III, 2 « Displuviata autem sunt, in quibus deliquiae arcam sustinentes stillicidia reiciunt; haec hibernaculis maxime praestant utilitates, quod compluvia eorum erecta non obstant luminibus tricliniorum».

¹⁰*De Architectura*, VI, III, 4, «Testudinata vero ibi fiunt, ubi non sunt impetus magni [...]» mentre *De Lingua Latina*, V, 161: «Locus, si nullus relictus sub divo qui esset, dicebatur testudo a testudinis similitudine, ut est in pretorio et castris».

Gli atri tuscanico, tetrastilo, corinzio, come codificati da Vitruvio (VI, III, 1) e in seguito dalla molta letteratura architettonica e archeologica, risultano dunque varianti dell'unica categoria compluviata ma nel passaggio tra un tipo e l'altro (Gros 2001), pur conservandosi la forma ad invaso, varia la concezione dello spazio con un influsso greco via via predominante.

Tuscanico. Il foro dell'impluvio è delimitato da due travi che attraversano l'intera larghezza della casa sulle quali poggiano in luce altre due travi (*interpensivae*) a completare il rettangolo del compluvio; le falde, inclinate verso l'interno, sono delimitate in basso dalle travi appena descritte, in alto dal muro e agli spigoli da travi poste secondo le diagonali del rettangolo di pianta (*colliciae*);

Tetrastilo. Così detto per via delle quattro colonne poste all'innesto delle travi in luce sulle travi principali¹¹;

Corinzio. Le colonne di sostegno diventano sei o più e quindi l'atrio diventa piuttosto un peristilio in funzione di atrio.

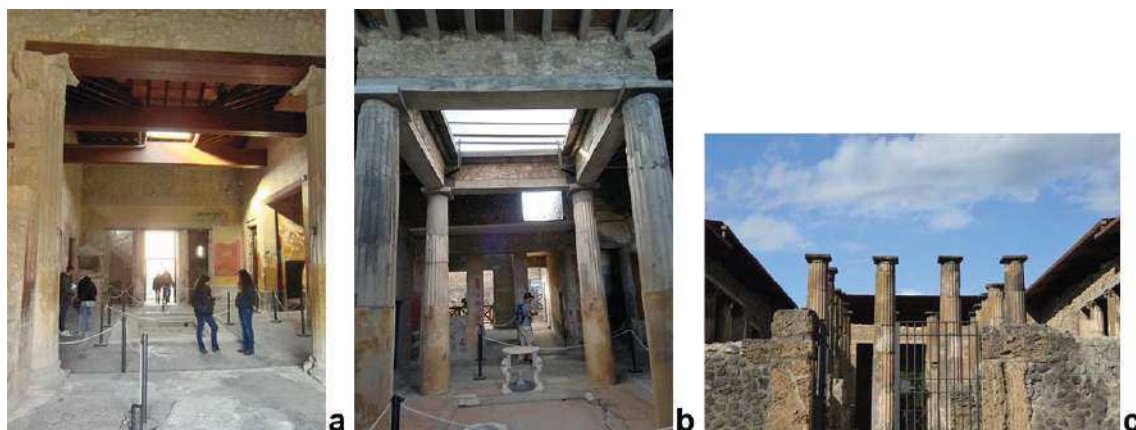


Figura 7.2: Tipi di atrio a Pompei: a) tuscanico; b) tetrastilo (casa dei Ceii); corinzio (casa dei Diadumeni)

Secondo S. Ferri, in effetti Varrone, che è precedente a Vitruvio, individua due soli tipi di cortile: la *testudo*, la casa completamente coperta che deve ragionevolmente essere il tipo più antico e il sistema impluvio (dove pioveva)-compluvio (da dove pioveva). Di fatto si tratta del contrasto tra due modi costruttivi rispondenti a modi di vita funzionali ad un certo clima: la capanna chiusa nei luoghi a clima continentale, umido e piovoso; la terrazza o il compluvio nei luoghi a clima mediterraneo, asciutto con improvvisi temporali. Le divergenze lessicali nascondono insomma motivi molto più profondi di una semplice divergenza di interpretazione ma hanno valore più per noi oggi, nel ricostruire e interpretare gli spazi, che per gli antichi che si affidavano all'esperienza e all'uso¹². Secondo Vitruvio (VI, III, 5) il sistema di proporzionamento dell'atrio è molto rigido e

¹¹La funzione delle quattro colonne è di ridurre l'inflexione delle travi portanti la copertura, quando queste iniziavano ad avere una luce notevole, cfr. Hallier (1989) ma lo afferma anche Vitruvio in VI, III, 2.

¹²Si rimanda ancora al commento dell'edizione di S. Ferri a *De Architectura* (v. bibliografia).

variabile in funzione della sua larghezza onde impedire che usando quelle dei grandi per i piccoli ne escano stanze troppo grandi per essere accomodate negli spazi di questi e viceversa, ne escano delle stanze ristrette e inadeguate. Anche solo la disamina delle fonti restituisce di per sé un quadro complesso di quello che può essere definito una casa ad atrio: si vedrà in seguito come la situazione reale risulti di ancor più difficile definizione.

7.3 La *domus* aristocratica in Italia

7.3.1 I dati archeologici

L'attuale stato della ricerca archeologica non permette di ricostruire esattamente il processo formativo della casa ad atrio, tuttavia molti indizi spingono a pensare che esso avvenga in area etrusco-laziale a seguito dell'affermazione del potere gentilizio nella struttura sociale e del progressivo inurbamento (Busana 2018)¹³.

La sede dell'élite etrusca, probabilmente per effetto dei contatti economici e culturali con l'Oriente, assume la forma di un edificio a corte in materiali progressivamente meno deperibili (mattoni crudi, tegole e decorazioni in laterizio cotto, intonaco) all'interno del quale è possibile riconoscere la presenza di un nucleo tripartito (Fig. 7.3), interpretato come il punto focale della vita e del culto della *gens*, come è visibile chiaramente a Murlo (Bentz e Reusser 2010; De Albentis 1990).

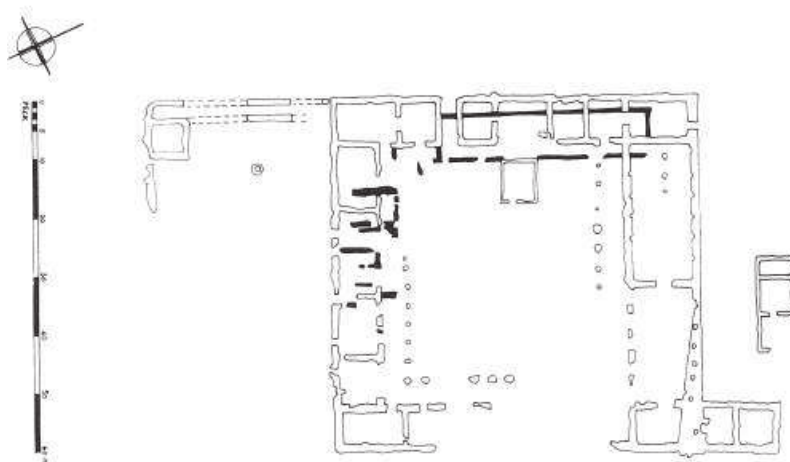


Figura 7.3: Palazzo di Murlo, prima (in nero) e seconda fase (in bianco) (da Bentz e Reusser 2010)

All'incirca nello stesso periodo, VII-VI sec. a. C., anche la casa più umile inizia a cambiare forma, passando da un impianto tondeggiante ad uno più squadrato, e a specializzarsi dividendosi in più vani probabilmente perché, nell'associazione di diverse abitazioni che

¹³L'opinione è sostenuta anche da S. Ferri nel suo commento a *De Architectura*: a suo parere tuttavia gli "Etruschi" coinvolti nel processo di definizione dell'atrio sono quelli abitanti nella pianura Padana, colà stanziatisi già nell'età del Bronzo. Una delle possibili etimologie antiche di atrio era appunto da "Adria".

si viene a creare in un villaggio, non è più possibile svolgere molte delle attività che prima si svolgevano all'aperto, come ad esempio mangiare, negli spazi attorno alla casa (Bentz e Reusser 2010; Caniggia e Maffei 1979). Tali cambiamenti sono evidenti anche in certi edifici arcaici di Roma, come la *Domus Regia*, e nella maggiore complessità delle tombe etrusche, dove la pianta assiale si arricchisce di ambienti affiancati (Carandini e Carafa 2013).

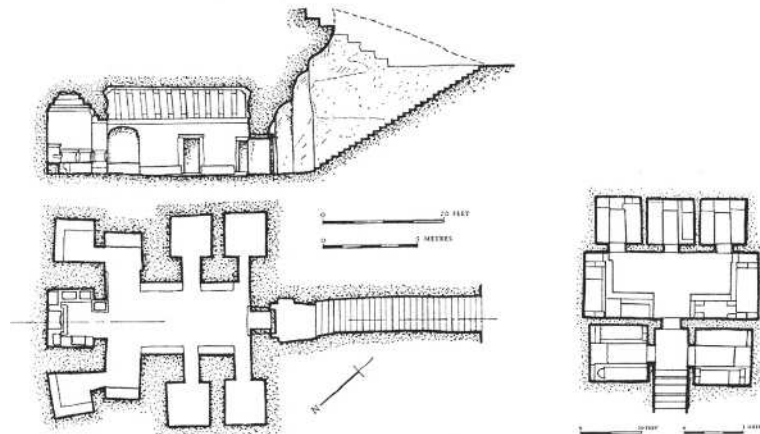


Figura 7.4: Esempi di tombe etrusche con somiglianza all'impianto della casa ad atrio: la tomba dei Volumni (sopra) quella dei Vasi Greci (da Boethius e Ward-Perkins 1970)

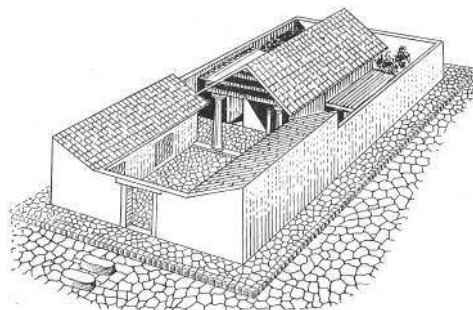


Figura 7.5: L'archetipo della casa romana nell'interpretazione di G. Patroni (da Buti 1962)

Non è chiaro se il sistema compluvio-impluvio sia ottenuto dalla parziale copertura della corte in origine scoperta oppure dalla parziale apertura del tetto che copriva l'intera casa per migliorare l'illuminazione interna (Fig. 7.4). Se la prima ipotesi, che è la posizione più datata, espressa da Maiuri ad esempio, è ragionevole dal punto di vista dell'evoluzione architettonica di uno spazio a corte progressivamente intasato da ampliamenti (Caniggia e Maffei 1979), la seconda, più recente, trova conferma dal fatto che gli scavi stratigrafici dimostrano in genere che la vasca per l'impluvio è una modifica successiva al sistema originale di gestione dell'acqua, rappresentato da una canaletta per l'espulsione dell'acqua piovana e un pozzo per l'approvvigionamento quotidiano così come è visibile nell'insediamento etrusco di *Kainua-Marzabotto* (VI-IV sec. a.C.) e sembra accadesse nella fase sannitica di Pompei, dove peraltro la presenza della vasca è in grado di stabilire un

rapporto più corretto col clima (De Albentis 1990; Zaccaria Ruggiu 1995). Non è pertanto necessario ipotizzare come è stato fatto in passato, già da Patroni e Maiuri secondo orientamenti concettuali diversi, la provenienza esterna alla cultura italica della casa ad atrio, di solito orientale, bensì riconoscere il contributo di molti influssi nel progressivo passaggio da una cultura rurale alle forme di vita associata, cui tutti, compresi i nobili, devono fare fronte (Buti 1962; De Albentis 1990; Fig 7.5).

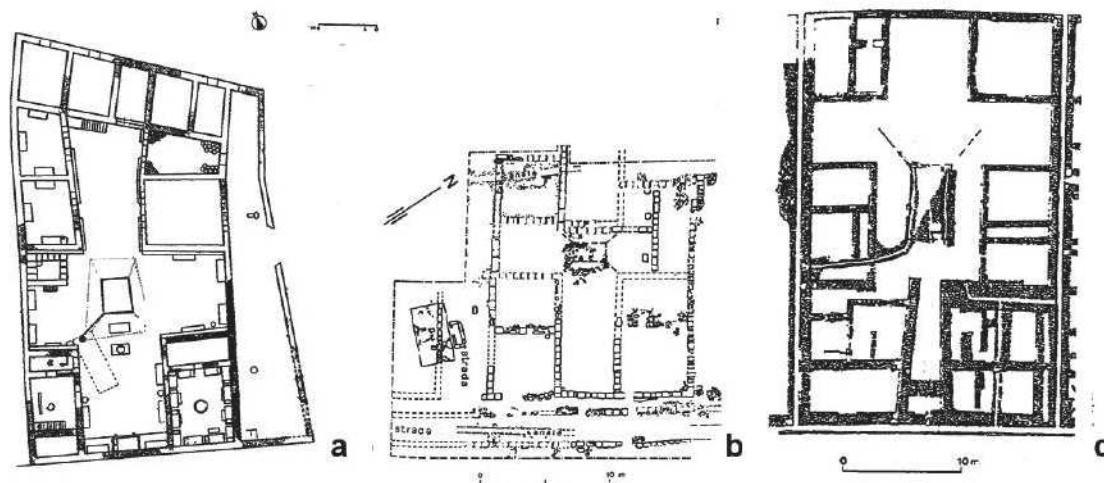


Figura 7.6: Case con schema ad atrio di epoca arcaica (VI-V sec. a.C.): a) Palatino, Roma; b) Regisvillae; c) Marzabotto (da Gros 2001)

I primi esempi di case ad atrio a Roma sono considerati quattro edifici, risalenti al VI sec. a.C., attribuibili alle famiglie allora più in vista, in forza della collocazione contigua al foro. Lo spazio scoperto centrale si dilata in quattro ambienti, probabilmente coperti, disposti a croce e completamente aperti sulla corte, che serve da spazio distributivo e di accesso alle stanze poste ai quattro angoli del rettangolo di pianta; lo spazio è equamente suddiviso tra la corte cruciforme e le stanze chiuse (Busana 2018; Carandini e Carafa 2013). Questi quattro edifici richiamano, anche per le modalità di gestione dell'acqua (pozzo e canaletta e più tardi vasca e cisterna), la struttura delle case di Marzabotto ma, significativamente, non hanno corrispettivi nelle case dell'Etruria vera e propria (Busana 2018).

A sud di Roma, in ambito magnogreco prevalgono ovviamente i modelli ellenici, spesso arricchiti da porticato attorno al cortile principale, ma la diffusione del modello ad atrio, chiaramente codificato con atrio a "T", avviene già dal IV sec. a.C in ambito italico (Fig. 7.6). È il caso di *Fregellae*, colonia latina fondata nel 328 a.C. Analoghi fenomeni sembrano riconoscersi anche nella Pompei del III sec. a.C. (Fig. 7.7) dove compaiono alcune case con impianto canonico assai chiaro e evidentemente originato dallo stesso concetto progettuale (Bentz e Reusser 2010). Non è trascurabile comunque la somiglianza tra la conformazione a T dell'atrio della casa italica con l'impianto del sistema distributivo formato da cortile, portico e relative appendici nella casa greca a *pastas*.

A *Fregellae* (Fig. 7.9) l'impianto delle case più importanti corrisponde esattamente alla descrizione dell'atrio tuscanico che dà Vitruvio, probabilmente per motivi politici connessi alla colonia (Gros 2001). È possibile notare, nelle posizioni meno centrali, anche case più "semplici" in cui l'atrio non è affiancato sui due lati lunghi da stanze, mancano i due bracci

della T — le *alae*, cfr *infra* — e sono presenti solo due ambienti sul fondo: uno schema che si rinviene molto frequentemente anche a Pompei (cfr. *infra*). La differenza tra le case può dirsi solo gerarchica nell'ordinamento della città perché non è apparente una diversità di classe sociale fra le stesse (Diosono in Bentz e Reusser 2010).

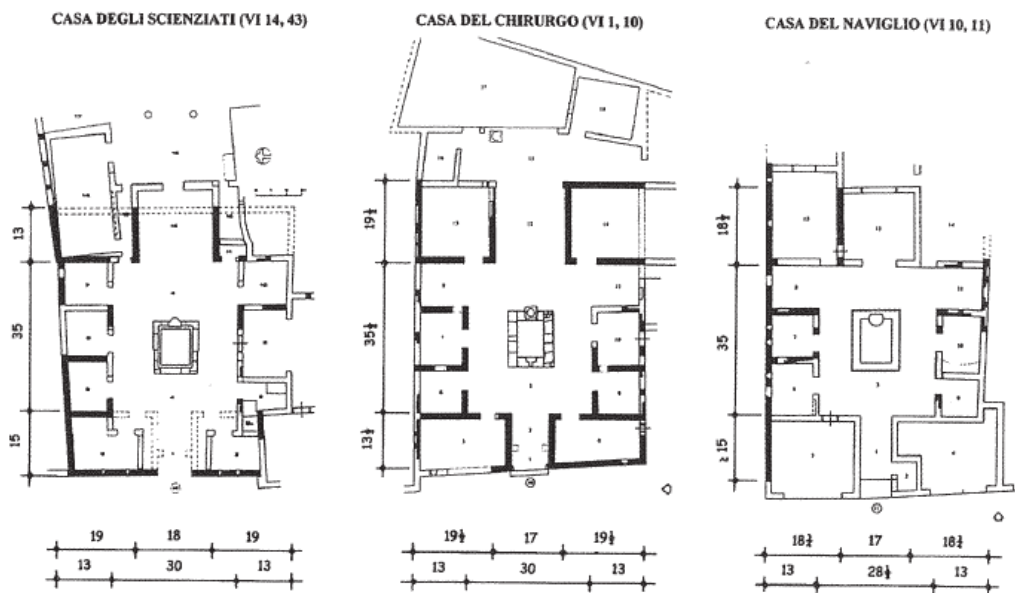


Figura 7.7: Case ad atrio tipo nella *regio* VI di Pompei (da Bentz e Reusser 2010)



Figura 7.8: Pianta di una casa greca a *pastas* (da Busana 2018)

Pompei testimonia un'analogia precoce adozione del nuovo tipo ad atrio a partire dal III sec. a.C., tanto da parte del ceto dirigente quanto dalla classe media, la quale ultima ricorre a soluzioni semplificate e più economiche.

Dalla fine del II sec. a.C. Pompei racconta anche della sempre più forte ellenizzazione della vita romana, come dimostra l'uso della colonna, che trasforma gli spazi aperti della casa. Il peristilio si aggiunge in un primo momento all'atrio come curiosità esotica senza che quest'ultimo perda la sua centralità nell'abitazione ma, dalla fine del II sec. a.C., acquista un ruolo preponderante nella vita sociale attraverso dapprima una maggiore integrazione nelle viste e nei percorsi interni e poi diventando il luogo adatto per ospitare nuove sale di ricevimento e di banchetto di moda orientale (cfr. *infra* par. 7.3.2). Avvicinandosi all'età augustea la frammentazione dello spazio si fa sempre più evidente nella moltiplicazione di esedre, oeci, terme e degli altri spazi, tratti dall'architettura pubblica, che Vitruvio ritiene opportuni per la dimora di un grande personaggio (cfr. *supra* par. 7.2.2) che Pompei ci restituisce nella veste provinciale (Busana 2018; Coarelli 1996). Altro fenomeno, visibile ad esempio nella casa di Scauro a Roma (Coarelli 1996), è l'ingrandimento degli spazi rappresentativi come l'atrio o il peristilio al punto da diventare inutilizzabili come "casa", per la vita quotidiana del *dominus*.

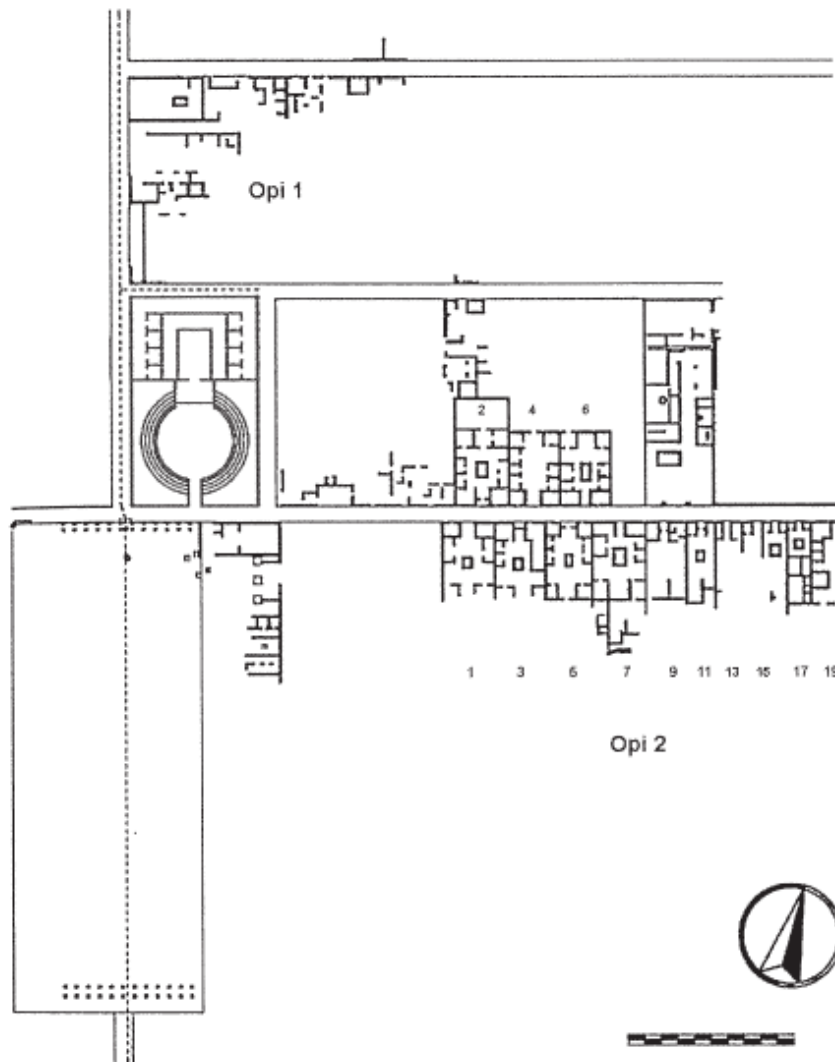


Figura 7.9: Pianta di Fregellae (da Busana 2018)

Le notizie sulla casa d'abitazione nel Nord Italia sono più frammentarie, da un lato perché lo stato di conservazione è in generale più scadente, dall'altro perché la continuità abitativa di molti centri ha obliterato i livelli più antichi (George 1997); i resti più completi ci vengono restituiti dai centri di Aosta, Luni, Brescia, Trento, Verona, Rimini, Este, Oderzo e Aquileia (Ghedini e Annibaletto 2012).

La situazione appare comunque ben diversa da quanto accade nel resto della penisola. Nonostante il presunto contributo alla formazione della casa ad atrio, nei centri più grandi si rinvengono tracce di abitazioni semplicemente a corte, mentre nelle zone più periferiche sopravvive addirittura la casa ad ambiente unico o con piccole stanze comunicanti, già da molto superata nelle zone tirreniche (Busana 2018). In impianti planimetrici frammentari, la corte, in terra battuta e di dimensioni ridotte, porticata o meno svolge la funzione di spazio di ingresso e di distribuzione ai singoli ambienti (Neudecker 2012). Solo dal I sec. a.C. nelle città (Rimini, Sarsina, Luni e Aquileia) inizia a rafforzarsi l'influenza italica e si riscontra la presenza di strutture ad atrio canoniche o più chiaramente leggibili (Busana 2018; Gros 2001). Gli impianti sono comunque meno compatti e più informali (George 1997), le corti aumentano di numero e tendono ospitare anche attività artigianali, riprendendo schemi arcaici e non sembrano costituire il centro della vita familiare, che si svolge piuttosto lontano dagli accessi (Ghedini e Annibaletto 2012). Le esigenze climatiche spingono a limitare le aperture verso l'esterno, trasformando i peristili in corridoi anulari aperti sulla corte solo mediante finestre (Buono et al. 2012). La maggiore separazione tra il dentro e il fuori dell'abitazione, mediante l'uso di ambulacri finestrati al posto dei colonnati, corridoi e vestiboli, così la pratica di pavimentare gli spazi scoperti più che farne un giardino sono pratiche ampiamente documentate nel Settentrione (Ghedini e Annibaletto 2012). Si nota inoltre una certa preferenza per soluzioni di ingresso indirette alla corte e agli ambienti della casa (Ghedini 2013). Le terme private, accompagnate da un sistema di riscaldamento a ipocausto delle stanze d'apparato, sono elementi di lusso spesso presenti in queste abitazioni e saranno i primi a sparire nelle ultime fasi di vita dell'Impero (Ghedini e Annibaletto 2012).

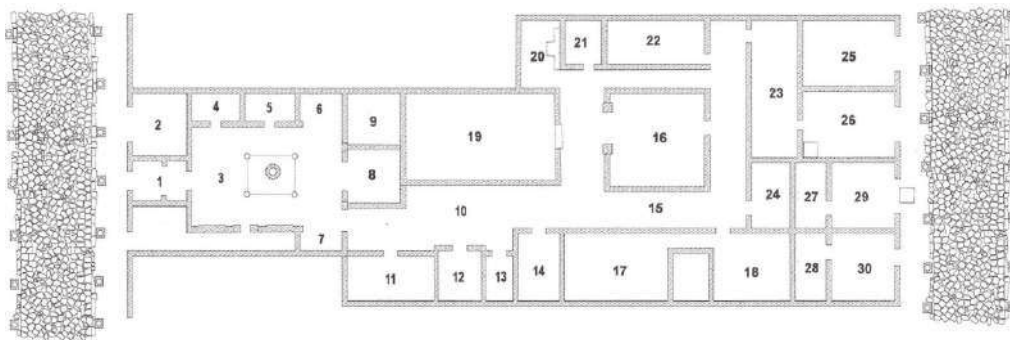


Figura 7.10: Pianta della casa di Tito Macro ad Aquileia (da Ghedini e Bonetto 2014)

Ad Aosta, Rimini e Este l'atrio appartiene alle case dell'età augustea o tiberiana, ma già nella seconda metà del I sec. d.C. nella Casa degli Affreschi di Luni se ne osserva la suddivisione in un gruppo di stanze e in una casa opitergina della fine del secolo è ormai accettata la sostituzione dell'atrio con un susseguirsi, per certi versi unico, di spazi scoperti; in questo quadro l'atrio perfettamente canonico della casa di Tito Macro ad

Aquileia (Fig. 7.10) appare anacronistico, almeno in attesa di ulteriori approfondimenti dello scavo (Busana 2018; Ghedini e Bonetto 2014; Gros 2001).

Fino all'età augustea, la *domus* italica di ambito centro-meridionale sarà ancora in grado di assorbire modi di vita nuovi e più elaborati o la nuova esigenza di un più stretto rapporto con un paesaggio naturale suggestivo e idealizzato, proprio della villa, senza perdere del tutto i riferimenti all'ideologia e ai valori della tradizioni. Certi episodi architettonici, come la già ricordata casa di M. E. Scauro a Roma o alcune *domus* pompeiane, pur nel loro "lusso provinciale", mostrano come l'atrio diventi più che altro un elemento di rappresentanza e magnificazione della *gens* e della casa, un vestibolo e una fonte d'acqua, privo però del ruolo di ambiente di vita del suo proprietario; il peristilio, che consente invece di creare questo rapporto, rapidamente gli viene preferito. La schematizzazione di una prima fase italica seguita da fasi di progressiva ellenizzazione della casa fino all'adozione di modi compiutamente ellenistici è ritenuta pertanto poco convincente nelle interpretazioni più recenti (cfr. Wallace Hadrill 2015) le quali sottolineano la predisposizione della cultura romana ad assorbire elementi ad essa estranei come mezzo per la manifestazione del potere dell'importanza sociale. Per lo stesso motivo, non accade il processo inverso, vale a dire la diffusione del modello atrio-tablino nelle province, mentre è piuttosto il centro ad adottare modelli stranieri, in particolare orientali. A Pompei, questa tendenza è rappresentata dalla trasformazione della casa in "villa urbana" ampliandosi al punto di occupare interi isolati e da diventare una mera appendice del giardino (casa di D. Octavius Quartio, II,2,2) oppure moltiplicando gli spazi, in un fitto intreccio tra spazi aperti e scoperti (casa dell'Efebo, I,7,10-12).

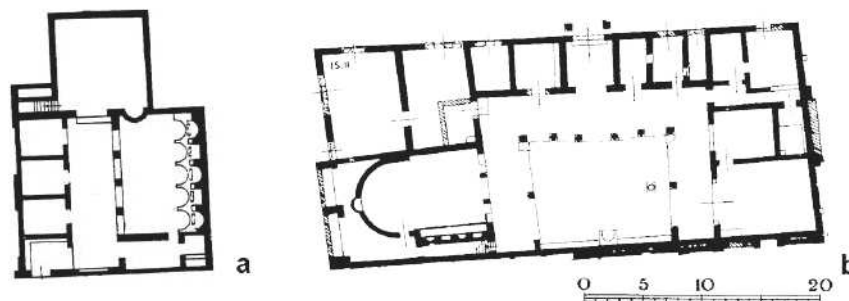


Figura 7.11: Pianta di due case di Ostia: a) di Amore e Psiche; b) della Fortuna Annonaria (da Calza et al. 1953)

La destrutturazione dello spazio domestico tradizionale si completa nella tarda età imperiale, dal III-IV sec. d.C. Al Nord Italia l'atrio si trasforma in corte e poi anche questa viene saturata da stanze (Ghedini e Annibaletto 2012); nel Lazio e nelle Province africane si assiste invece alla quasi completa sostituzione dell'atrio da parte del peristilio, completato da fontane e ninfei, nella comparsa di sale absidate per i banchetti sul modello degli sviluppi dell'architettura imperiali (tra tutti, villa Adriana); la porta si spinge all'esterno nella forma di piccoli protiri o colonnati (Bullo e Ghedini 2003; George 1997). Merita una particolare attenzione la perdita dell'assialità di veduta e percorso che caratterizzavano la casa italica a favore di soluzioni più articolate — accessi a baionetta, sguardi trasversali e percorsi indiretti — arricchendo la casa di scorci inediti in precedenza e favorendone una fruizione più intima e progressiva (Busana 2018; De Albentis 1990; Neudecker 2012).

Si osserva una certa riduzione delle dimensioni di pianta, un generale impoverimento dei materiali e delle tecniche costruttive e infine la sparizione degli spazi più onerosi, come le terme private, che si erano diffusi con la prima età imperiale; dal punto di vista compositivo diventa apprezzato il profilo mistilineo degli ambienti, utilizzato per gli spazi di rappresentanza nelle case ma soprattutto nelle ville dei senatori o dei personaggi più vicini all'imperatore (Busana 2018).

Le *domus* di Ostia Antica (Fig. 7.11), costruite quando la città diventa centro residenziale dopo la contrazione dei traffici che la attraversavano nel II e III sec. d.C., mostrano appunto queste caratteristiche. L'impianto si caratterizza per la presenza di un peristilio al posto dell'atrio, di solito affiancato ad uno dei lati del lotto e visibile sull'altro lato da una sala centrale di passaggio — il *medianum* — che unisce il vestibolo d'ingresso all'ambiente principale di soggiorno — *exedra* — dominante rispetto agli altri. Sul lato del *medianum* che non confina col peristilio si aprono vari cubicoli che completano i lussuosi ambienti di rappresentanza, in alcuni casi altri ambienti di pertinenza della famiglia sono disposti al piano superiore ma più tipico è il caso di un appartamento autonomo al piano superiore dato in affitto e accessibile da una scala posta a lato del vestibolo della casa del pianterreno: così accade nelle *domus* Fulminata, della Fortuna Annonaria e di Apuleio (inizio del II sec. d.C.; Gros 2001). L'exasperazione di questa separazione, tra pianterreno destinato ai servizi e primo piano alla residenza, si otterrà o schema che sarà tipico del mondo successivo, quello medievale della casa-bottega (Busana 2018; Caniggia 1975). Anche in conseguenza delle numerose trasformazioni di queste case, la collocazione degli ambienti è meno rigida e per questo ne risulta un impianto complessivo alquanto irregolare — probabilmente frutto delle numerose rielaborazioni che subiscono queste case oltre alla limitata disponibilità di terreno edificabile — se confrontato con gli esempi pompeiani, anche se è riconoscibile una stretta relazione tra *exedra* e peristilio, alla ricerca di un'elevata qualità spaziale della casa, ulteriormente arricchita dalla decorazione (George 1997; Neudecker 2012).

Proprio nel caso di Ostia lo sviluppo in altezza della *domus* per effetto della pressione abitativa ed economica dà origine anche al "tipo" della *insula* di alto livello, caratterizzata da ampi appartamenti (fino a 500 mq), grandi finestre rivolte all'esterno, buon livello di decorazione e perfino giardini con fontane (Gros 2001). Si tratta comunque di un aspetto dell'abitazione romana molto locale, presente probabilmente solo qui e a Roma, poiché anche nel resto d'Italia il modello rimane l'abitazione singola estesa in senso orizzontale (Busana 2018).

7.3.2 Gli ambienti della *domus*

La descrizione degli ambienti principali della casa tradizionale delle classi elevate prima dell'ellenizzazione e della successiva smania imitativa della classe media può partire dall'elemento più rappresentativo, l'atrio, per proseguire negli altri spazi a suo corollario (Fig. 7.12). Il riferimento è abbastanza obbligato ad un modello ideale di casa, che può esser ben rappresentato dalla fase più antica delle case del Chirurgo o di Sallustio a Pompei, ma che nella realtà è raramente riscontrabile¹⁴.

¹⁴I riferimenti moderni utilizzati per le righe che seguono sono, in particolare: De Albentis 1990, pp. 99–104, 147–50, Gros 2001, pp. 21–26, 30–31, Zaccaria Ruggiu 1995, pp. 311–409 e Wallace-Hadrill 1994, pp. 38–61; infine, per gli ultimi sviluppi, Busana 2018 ai quali si rimanda anche per la bibliografia che si è ritenuto

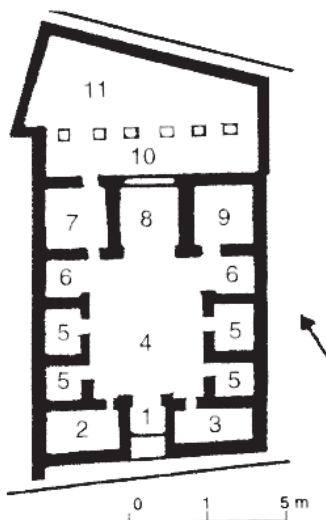


Figura 7.12: Tipo-base di casa ad atrio (Pompei, casa del Chirurgo VI,1,9 da Gros 2001): 1) *vestibulum* e *fauces*; 2-3) *tabernae-cubicula*; 4) *atrium*; 5) *cubicula*; 6) *alae*; 7) e 9) *triclinia*; 8) *tablinum*; 10) *porticus*; 11) *hortus*

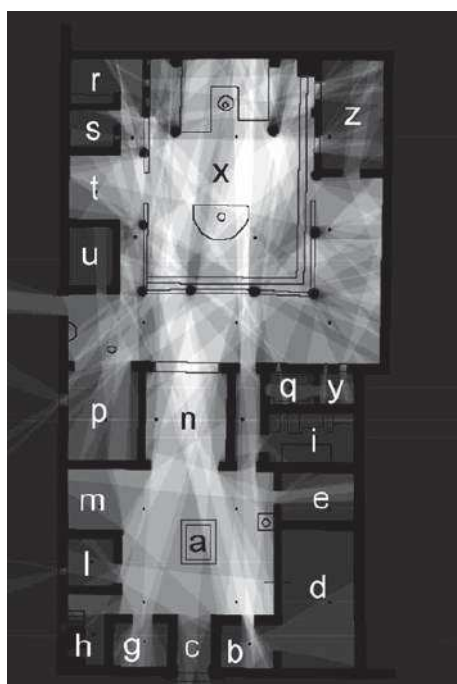


Figura 7.13: Analisi di visibilità interna della casa di Trebius Valens a Pompei (III, 2, 1, da Anderson 2005)

Per quanto Vitruvio neghi un rapporto tra casa romana e greca — «atriis Greci quia non utuntur» — alcuni studiosi hanno ravvisato una certa rassomiglianza tra l'atrio e il sistema

opportuno consultare anche se non citare direttamente. In questo modo si cerca di lasciare più spazio alla citazione delle fonti.

distributivo della casa greca aristocratica a *pastas*, dal nome del corridoio-porticato che sul fondo della corte centrale scoperta distribuisce agli ambienti principali della casa — focolare e stanza letto matrimoniale —, in forza della medesima conformazione a T (Busana 2018). Tuttavia è evidente anche la presenza di una struttura geometrica di fondo della casa di chiara matrice etrusca, così fortemente assiale e divisa tra una parte “davanti” accessibile e un “dietro” tripartito e solo visibile, come è tipico anche del tempio tuscanico e estraneo alla casa greca (De Albentis 1990; Mueller e Vogel 1996; Hopkins 2016; Jolivet in Tuori e Nissin 2015). La centralità del tablino e degli ambienti retrostanti è confermata anche da studi di visibilità interna condotti su un campione piuttosto ampio di case pompeiane (Anderson 2005; Fig. 7.13). È interessante notare tuttavia come all’enfaticizzazione del gruppo atrio-tablino-peristilio corrisponda sempre una maggiore discrezione degli ambienti di più stretta pertinenza della famiglia — i cubicoli — o a carattere funzionale o servile — bagni e cucine —.

Wallace Hadrill (2015) nota che in Vitruvio l’atrio non sia peraltro di esclusiva pertinenza della casa della élite, poiché la differenza risiederebbe piuttosto nel numero e nelle dimensioni grandiose degli ambienti e nel lusso delle finiture. A Pompei, Ercolano, così come a Fregellae e a Roma sono attestati per via diretta o indiretta particolari case in cui si conserva il gruppo atrio-tablino ma la dotazione di ambienti minori è ridotta ai soli lati corti. Queste case, interpretate di solito come proprie di un ipotetico “ceto medio”, saranno presentate al par. 7.4.

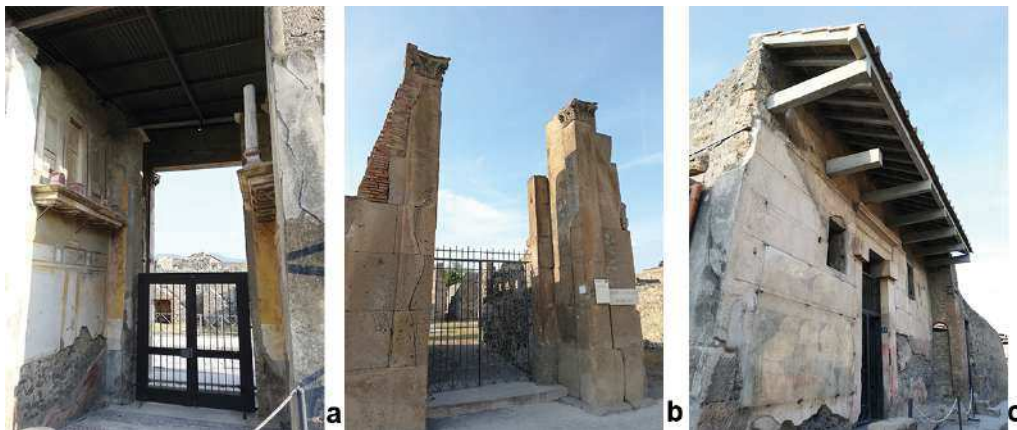


Figura 7.14: Ingressi monumentali a Pompei: a) casa del Fauno; b) casa di Pansa; c) casa dei Ceii

L’ingresso

La caratteristica più evidente della casa urbana romana è l’introversione.

La separazione tra lo spazio pubblico e monumentale esterno e lo spazio privato è così netta che la stretta porta — *ostium* da *os*-bocca — praticata nel muro perimetrale non può nemmeno aprirsi verso l’esterno per non ingombrare il marciapiedi. L’accesso alla casa (Fig. 7.14) avviene attraverso le *fauces*, strette tra i due cubicoli ai suoi lati, e spesso precedute da un piccolo ambiente, il *vestibulum* destinato all’attesa dei *clientes*, intermedio tra la via pubblica e la casa privata, in cui avviene la vera mediazione tra esterno e interno. Anche nel rispetto di queste prescrizioni, l’ingresso mostra subito la ricchezza della casa

retrostante tramite l'altezza della porta e la decorazione delle pareti del vestibolo con affreschi a sfondo blu o nero, colori particolarmente costosi nel mondo antico. I cubicoli posti ai lati dell'ingresso vengono spesso scorporati dalla casa e aperti all'esterno per trasformarli in negozi ma non mancano casi in cui il fronte dell'abitazione ne è dotato già al momento della costruzione.

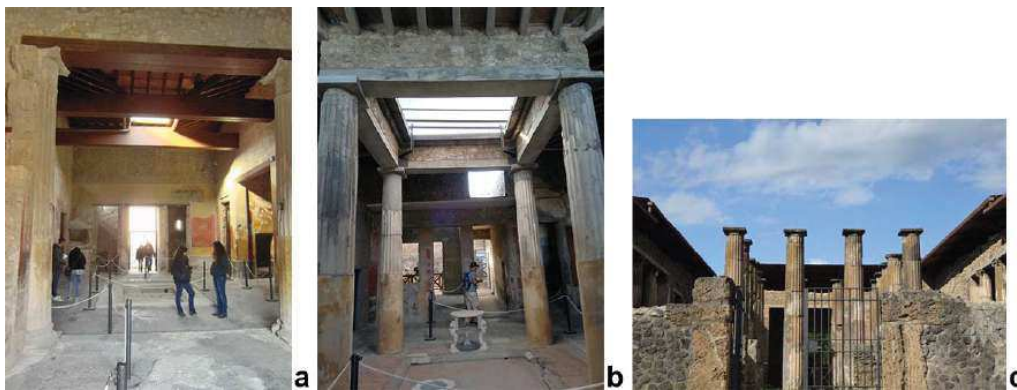


Figura 7.15: Profondità del campo visivo in alcune case di Pompei: a) casa di Sallustio; b) casa del labirinto; c) casa dei Dioscuri

L'atrio

Dell'atrio e delle sue varianti si è già offerta una buona panoramica in precedenza, pertanto rimangono da descrivere solo alcuni aspetti legati all'interpretazione di questo ambiente. L'atrio della casa latina non è solo un cortile delimitato o meno da colonne ma è l'ambiente centrale della casa, articolato nelle *alae* e nel *tablinum*, i quali pur nella loro autonomia di funzione e di volumetria, partecipano della spazialità complessiva a differenza dei cubicoli, nettamente separati. La concatenazione spaziale è così fortemente sentita che Quintiliano (*Institutio Oratoria*, XI, 2, 18.) ne fa il paragone con la costruzione ordinata di un'orazione, e molti autori non distinguono l'atrio dalle sue articolazioni o addirittura dall'intera casa, usando il termine *cavum aedium*, il "vuoto della casa" per indicarla¹⁵.

Tra le varianti ricordate da Vitruvio, atri nel senso proprio del termine possono essere considerati solamente il tuscanico e il tetrastilo, quest'ultimo inteso come arricchimento del primo, mentre l'atrio corinzio sarebbe da ritenersi un peristilio, anche se più piccolo rispetto alle dimensioni tipiche. Varrone afferma che, malgrado le apparenze, non esiste reale parentela tra atrio e peristilio¹⁶. In effetti è differente il rapporto tra spazio aperto e coperto: nel peristilio prevale il primo, destinato a giardino, nell'atrio il secondo, al punto che l'impluvio appare quasi come una presa di luce e la superficie è pavimentata per raccogliere l'acqua (Zaccaria Ruggiu 1995). La differenza è sottolineata *in nuce* anche da Vitruvio, il quale, dopo aver detto che l'atrio ha uno sviluppo longitudinale e vi si accede dal lato minore, descrive il peristilio come una porzione sviluppata più nel senso della

¹⁵Così in *De Architectura*, VI, III, 1-3 e in *De Lingua Latina*, V, 33, 161: «cavum aedium dictum qui locus tectus intra parietes relinquebatur patulus, qui esset ad communem omnium usum»; il termine compare anche *Epistulae* di Plinio il Giovane e nella *Naturalis Historia* dello zio.

¹⁶*Opere di Marco Terenzio Varrone*, VIII, 14, 29: «Nelle case noi vediamo che non sussiste alcuna similitudine tra il peristilio e l'atrio».

larghezza¹⁷.

Il carattere pubblico del complesso atrio-ali-tablino, per quanto ricercato (Fig. 7.15), può risultare in conflitto con la vita domestica vera e propria, pertanto nelle abitazioni di più alto livello compaiono più atri disposti secondo assi paralleli, utilizzati per disimpegnare diversi quartieri della casa o zone con diverse funzioni — appartamento privato, zona dei domestici, zone per gli ospiti, ecc. —. In tal caso, questi spazi, non rispondendo alla simbologia connessa alla struttura dell'atrio, sarebbero meglio definibili come patii (Zaccaria Ruggiu 1995). Gli atri minori possono far parte del primo impianto della *domus* o, più spesso, essere ottenuti dall'accorpamento di case confinanti, come accade a Pompei nella Casa del Toro (V, 1, 3-9), in quella di Caecilius Iucundus (V, 1, 23-27) e in quella del Fauno (VI, 12, 2). A questo proposito la presenza di un tramezzo di legno posto a separazione del tablino dall'atrio nella casa detta appunto del Tramezzo di Legno ad Ercolano, potrebbe offrire una soluzione al problema: il divisorio esclude la visuale ad altezza uomo, garantendo un minimo di privacy, ma non impedisce di percepire l'altezza del tablino e la presenza del giardino retrostante funzionali a cogliere la ricchezza del proprietario (Fig. 7.16).



Figura 7.16: Vista dell'atrio verso il tablino nella Casa del Tramezzo di Legno a Ercolano (da [1])

Le articolazioni dell'atrio: il tablino e le alae

L'etimologia della parola *tablinum* può essere connessa a *tabularium*, il registro delle gesta compiute e delle cariche pubbliche ricoperte dai membri della famiglia. Se poi si ricorda, con Plinio, che in esso vi si conservavano le spoglie dei nemici sconfitti dal padrone di casa durante il servizio militare è evidente come questo spazio rappresenti l'acme della celebrazione del potere e dell'importanza della *gens*. Wallace Hadrill (2015) osserva tuttavia il contrasto esistente tra la riservatezza richiesta da un archivio e l'accessibilità di questo ambiente, il quale non è semplicemente connesso all'atrio ma è spalancato su di esso, al punto da costituirne di fatto un'appendice (Fig. 7.17a). Nessuna delle fonti

¹⁷*De Architectura* VI, III, 2: «Peristyla autem in transverso tertia parte longiora sint quam introrsus».

antiche che ne parla lo colloca esplicitamente nell'impianto dell'abitazione ma vista la sua importanza lo si è individuato nell'ambiente posto di rimpetto all'ingresso, al culmine dell'atrio (Gros 2001). Il tablino svolge dunque il doppio ruolo di punto focale degli sguardi e di punto di osservazione privilegiato dell'intera casa: chi entra, fin dall'ingresso, può vedere il *dominus* lì assiso, tra i trofei e le gesta degli antenati, a ricevere il saluto dei clienti e a dirigere lo svolgimento della vita domestica (Wallace-Hadrill 1994; Zaccaria Ruggiu 1995).

In seguito, nell'abitazione di gusto ellenistico (Fig. 7.17b), il tablino perde la propria centralità a vantaggio di esedre e *oeci*, i quali, pur presentandosi con un lato aperto verso la corte, che ora è il peristilio e non l'atrio, non ne ripetono la collocazione assiale; in altre situazioni esso perde la parete di fondo, in genere aperta da una finestra affacciata sul giardino o peristilio, trasformandosi in un ambiente di collegamento tra i due spazi aperti della casa.

Concludono lo spazio dell'atrio le due *alae*, in cui Vitruvio afferma che vi si conservavano le *imagines* degli antenati, e che probabilmente dovevano essere percepite, come il tablino, quale parte integrante dell'atrio, giustificando il silenzio degli autori a loro riguardo. Oltre a quella commemorativa, in certe abitazioni esse hanno la funzione pratica di dare accesso indipendente ai due cubicoli posti ai lati del tablino, riprendendo l'impianto della casa a *pastas* d'uso greco (Busana 2018).



Figura 7.17: Il tablino prima e dopo l'ellenizzazione a Pompei: a) la *caupona* di Sotericus; b) la casa di Pansa

I cubicoli e gli ambienti di servizio

Il cubicolo, a rigore, dovrebbe essere il luogo privato per eccellenza, dove ci si ritira per studiare e meditare ma soprattutto per dormire¹⁸. Per la ricordata commistione tra vita pubblica e privata, anche in questo luogo è possibile ricevere gli amici più intimi, con cui discorrere o per cenare, un uso che, oltre dalle fonti letterarie, dovrebbe essere anche confermato dalla ricchezza delle decorazioni parietali, tali da far ritenere improbabile l'uso da parte di una sola persona. Tuttavia le analisi di visibilità interna condotte ad esempio da Anderson (2005) dimostrano che questi spazi, per quanto centrali nell'impianto

¹⁸Varrone sentenza (*De Lingua Latina*): «Ubi cubabant, cubiculum».

della casa erano di fatto preclusi alla vista interna in modo da garantire l'intimità (cfr. Fig. 7.18). Questi ambienti più strettamente di servizio sono in realtà più correttamente definibili come *cellae* e a questa stregua possono essere considerati anche gli spazi ai due lati dell'ingresso della casa romana (Allison in Dobbins e Foss 2007)

Nella casa ad atrio i cubicoli si dispongono lungo il perimetro dell'atrio, e ai due lati del tablino, venendo disimpegnati dalle *alae*; quelli sul fronte dell'edificio spesso sono trasformati in botteghe, scorporandoli dalla casa vera e propria. Zaccaria Ruggiu (1995) individua i cubicoli anche in prossimità dei triclini, per ritemperarsi dopo i banchetti, o vicino alle terme per poter essere così riscaldati, qualora il clima lo rendesse necessario. Apparentemente sembrano mancare di aperture, se si esclude la porta, tuttavia a Pompei l'illuminazione è fornita da piccole aperture, fortemente strombate, poste nei pressi del soffitto o negli angoli, forse per scoraggiare l'intrusione o limitare lo scambio termico con l'esterno (Fig. 7.18).



Figura 7.18: Dettaglio delle prese di luce di due cubicoli nella casa dell'Efebo a Pompei

Gli ambienti di origine greca: peristili, *oeci*, ed esedre

L'influenza greca, che si rafforza a partire dal II sec. a. C., introduce nella casa romana nuovi ambienti in cui può svolgersi una vita agiata e colta, circondata dal lusso e dalla bellezza. Indice di ellenizzazione è considerato in particolare l'impiego di colonne, che iniziano ad essere usate nell'atrio (tetrastilo, corinzio), e sono l'elemento caratteristico del peristilio e delle nuove sale di ricevimento; nella mentalità romana, la colonna ha una notevole importanza ideologica, poiché viene normalmente associata all'edificio pubblico. In case di particolare lusso, il peristilio può sostituire l'atrio, come accade nella Casa dei Diadumeni a Pompei (IX.I.20) ma è più frequente la compresenza di entrambi. Poiché il peristilio può arrivare a coprire una superficie quasi pari a quella dell'abitazione vera e propria a Pompei solo poche case, e fra le più grandi, sono dotate di un peristilio completo sui quattro lati, più spesso il porticato si limita a qualche lato soltanto, affidandone il completamento a mezze colonne o colonne dipinte a *trompe-l'oeil*, oppure limitandosi a dare l'impressione del peristilio, collocando un paio di colonne dietro al tablino in modo che fossero ben visibili dall'ingresso (cfr. Figg. 7.13, 7.17b). Queste varianti meno dispendiose sono tipiche di case medio-piccole degli ultimi decenni di Pompei, che cercano di imitare le grandi residenze di gusto greco costruite in quel periodo nella zona.

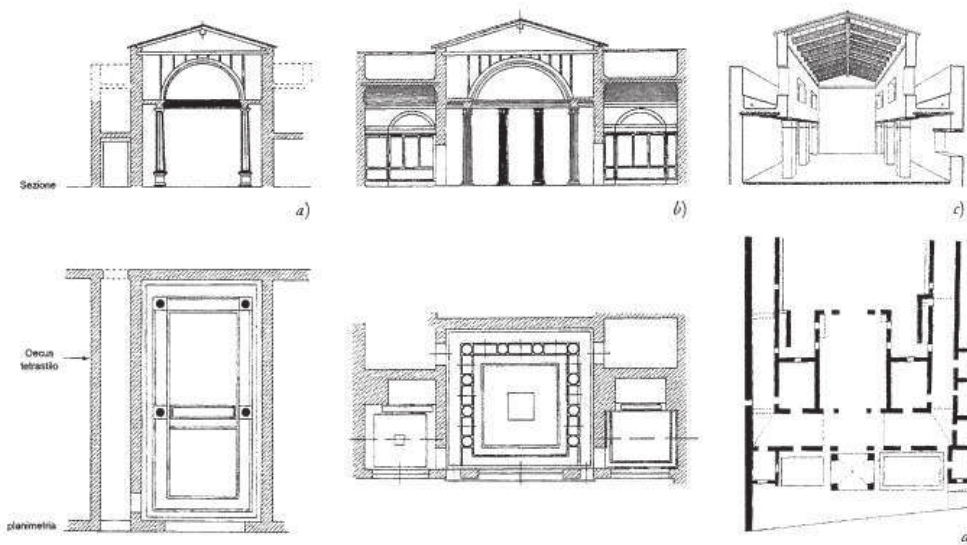


Figura 7.19: Esempi di *oeci*: a) pianta e sezione di un *oecus* tetrastilo (Pompei, casa delle Nozze d'Argento); b) pianta e sezione di un *oecus* corinzio (Pompei, casa del Labirinto); c) disegno prospettico di un *oecus* egizio (Ercolano, casa dell'Atrio a Mosaico); d) pianta di un *oecus* ciziceno (Ercolano, casa dei Cervi) (da Gros 2001)

Il peristilio diventa una cornice prestigiosa per un intrattenimento raffinato e lungo il suo perimetro si dispongono sale per il riposo diurno, sale di soggiorno (*exedrae*) e per banchetti (*triclinia*, *oeci*). Le esedre presentano la parete verso il peristilio aperta, offrendo un elegante spazio di conversazione in contemplazione della natura; ve ne possono essere più d'una in diversa posizione lungo il perimetro. Gli *oeci*, caratterizzati da forme diverse secondo le diverse ispirazioni geografiche — in *De Architectura*, VI, III, 9-10 si ricordano *oeci* corinzi, egizi e ciziceni — sono una variante grandiosa del triclinio, la sala da pranzo secondo l'uso greco, in cui le colonne delimitano un ambiente centrale su cui si affacciano i triclini da un ambulacro per i servitori e questa particolare disposizione consente anche scenografici effetti di luce (Fig. 7.19).

Wallace Hadrill (2015) ritiene che questi ambienti non snaturino la casa romana aristocratica ma al contrario ne rappresentino la vera sostanza, fatta cioè dell'esibizione della ricchezza e della capacità di vivere in un ambiente raffinato proprio secondo quanto affermato da Vitruvio. Si tratta di una lettura molto personale che tuttavia ha il merito di sottolineare la fascinazione che esercita il mondo orientale e greco in particolare sulla mentalità romana, anche in contrasto con i severi costumi degli antenati. Tuttavia è innegabile che la comparsa di questi ambienti nella casa italica comporti *in primis* un cambio di scala e in secondo luogo uno stravolgimento degli spazi tradizionali, con il sovvertimento della concezione unitaria nel moltiplicarsi di sale, cubicoli, porticati e giardini.

I piani superiori

La presenza di scale testimonia l'esistenza anche di almeno un altro livello fuori terra della *domus*, anche perché l'atrio sicuramente aveva un'altezza tale da poter essere circondato da due piani residenziali, almeno nelle dimore più prestigiose. A Pompei l'accesso ad

eventuali abitazioni indipendenti poste al primo piano non avviene attraverso il profferlo ma scale in linea interne così da mantenere la facciata liscia e il marciapiedi sgombro. Le scale che conducono invece al primo piano di una stessa proprietà tipicamente si rinvengono nella zona dell'atrio, contro una delle pareti laterali o tra i cubicoli. La struttura può essere in muratura, ma più spesso è in legno con solo i primi tre gradini fissi, e tipicamente sono molto pendenti (Fig. 7.20). Questa scomodità potrebbe essere la conferma di un uso più strettamente privato o servile degli ambienti posti ai piani alti, anche se Varrone (*De Lingua Latina*, V, 162) definisce questi ambienti *cenacula*, riconducendone l'etimologia a *cena* e quindi all'uso di mangiarvi.



Figura 7.20: Esempi di scale a Pompei: a) traccia della scala in legno nell'intonaco della parete dell'atrio della casa I,12,15; b) scala di accesso ai livelli superiori delle terme del foro (da [17])

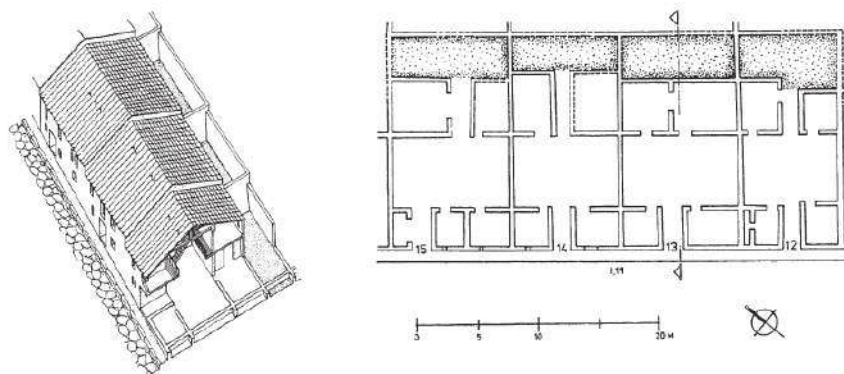


Figura 7.21: Assonometria ricostruttiva e pianta delle case testudinate o a schiera come individuate da Hoffmann (1979) (da Nappo 1994)

7.4 Altre forme dell'abitare

Nel precedente paragrafo, volto a ripercorrere le principali tappe storiche dell'abitazione italica, sono comparsi anche modelli abitativi "diversi", non riconducibili né in modo embrionale né in modo diretto alla descrizione vitruviana. Di alcuni è evidente l'alterità,

come nel caso del fabbricato d'affitto multipiano o *insula*, di altri, individuati genericamente come “casa testudinata” è più difficile stabilire il rapporto con lo schema canonico, sia per l'aspetto sociale sia per l'aspetto architettonico.

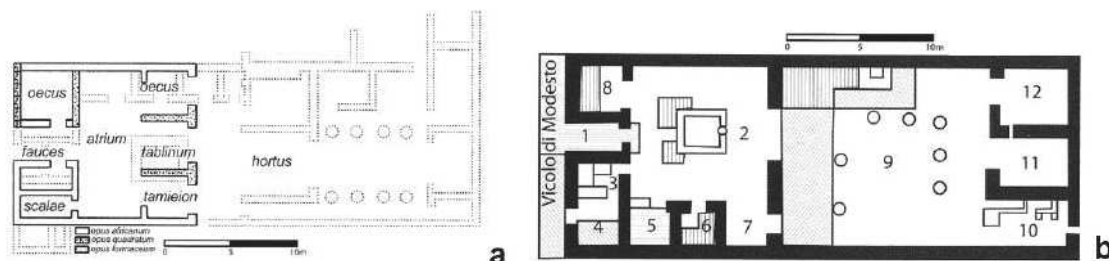


Figura 7.22: Pianta delle protocase: a) del Centauro (VI,9,3); b) del Granduca Michele (VI,5,5) (da Coarelli e Pesando 2011)

7.4.1 I dati archeologici

È opportuno premettere che la casa testudinata, proposta da Hoffmann (1979), corrisponde ad una versione della casa ad atrio con cubicoli solo sui lati corti, ai due lati dell'ingresso e del passaggio verso il retrostante giardino (Fig. 7.21). Molti esempi di questi edifici si rinvengono nella *regio* I di Pompei. Certi aspetti di realizzazione contemporanea delle murature e la notevole somiglianza di impianto planimetrico richiamano alla mente le case a schiera di età medievale. L'aspetto più critico di questa ricostruzione, che peraltro si ricollega al problema della datazione, è legato alla copertura o meno dello spazio centrale su cui si affacciano i cubicoli.

Maiuri (1951) dava di queste abitazioni una cronologia molto tarda, successiva alla costruzione dell'acquedotto — avvenuta in due fasi attorno all'80 e al 12 a.C. (Dessales 2008) —, in quanto non vi rinveniva apposite strutture per la conservazione dell'acqua, quali vasche e cisterne.

Per motivi analoghi Hoffmann (1979) ipotizza una copertura totale dell'edificio, a due piani, anche al di sopra della corte, secondo lo schema testudinato di Vitruvio, con colmo parallelo al lato della strada e sposta la datazione di questi edifici al II sec. a.C. al più tardi. Zanker (1993) riconduce il grosso della produzione di questi edifici dovrebbe avvenire all'epoca della deduzione della colonia sillana dopo la sconfitta della Guerra Sociale nell'80 a.C.; dal punto di vista architettonico sembra essere orientato verso la soluzione di Hoffman.

S. Nappo, nello stesso anno di Zanker, sulla base di studi archeologici puntuali recupera la datazione alta, addirittura anticipandola al III sec. a.C. ma propone schemi ricostruttivi radicalmente più semplici, nei quali soprattutto trovano spazio cortili scoperti dotati di cisterne e sistemi di raccolta dell'acqua.

Oggi il periodo più accreditato si colloca tra la fine del III e l'inizio del II sec. a. C., un periodo di ripresa della cittadina con conseguente aumento della pressione abitativa, anche se la datazione di alcune è stata anticipata di circa un secolo (Busana 2018). In seguito il tessuto urbano di antico impianto viene rifunzionalizzato con l'arrivo dei coloni, modificando i confini di proprietà precedenti, ma lasciando sostanzialmente inalterata la distribuzione della murature che è ancora quella visibile (Nappo 1994).

Nella ricerca delle prime fasi costruttive di due case nella *regio VI* è emerso che il modello semplificato è leggermente più antico (protocasa del Centauro, metà III sec. a.C.; Fig. 7.22) di quello di tipo tuscanico — ancorché incompleto — (protocasa del Granduca Michele, III-II sec. a.C.) anche se quest'ultimo diventa prevalente (cfr. cap. 8). In entrambi i casi si tratta di case con una decorazione di pregio, con evidenti richiami greci, pertanto sarebbe da escluderne l'appartenenza ad un ceto di estrazione popolare (Pesando in Bentz e Reusser 2010).

Le stesse case, databili nella fase originale al IV-III sec. a.C., compaiono anche a Fregellae nella via presso il foro e, ancora una volta, mostrano finiture tali da far supporre comunque l'appartenenza ad un ceto elevato (Fig. 7.23). La dimensione del fronte è molto vicina agli esempi pompeiani di impianto analogo (9-13 m) e non vi sono dubbi che l'atrio fosse, almeno in parte scoperto, per via della presenza di vasche di raccolta e canalette per lo smaltimento dell'acqua.

Anche in ambito etrusco, a *Kainua-Marzabotto* (fine VI-V sec. a.C.) sono state portate in luce accanto alle grandi *domus* a pianta cruciforme anche gruppi di edifici più piccoli in cui i vari ambienti si affacciano su una corte rettangolare, servita da volte a un pozzo oltre da una vasca, resa accessibile ancora una volta da un corridoio (Fig. 7.24). In questo caso la destinazione di questi complessi doveva essere a carattere misto, residenziale e artigianale (Bentz e Reusser 2010) ma si tratta anche di edifici nettamente più antichi di quelli appena descritti. La sopravvivenza di questo varietà di case, nella variante "ellenizzata" completa di peristilio si può ancora apprezzare nella pianta di Roma di età severiana, (200 d.C.) e anche in varie altre *domus* individuate da Carandini e Carafa (2013).

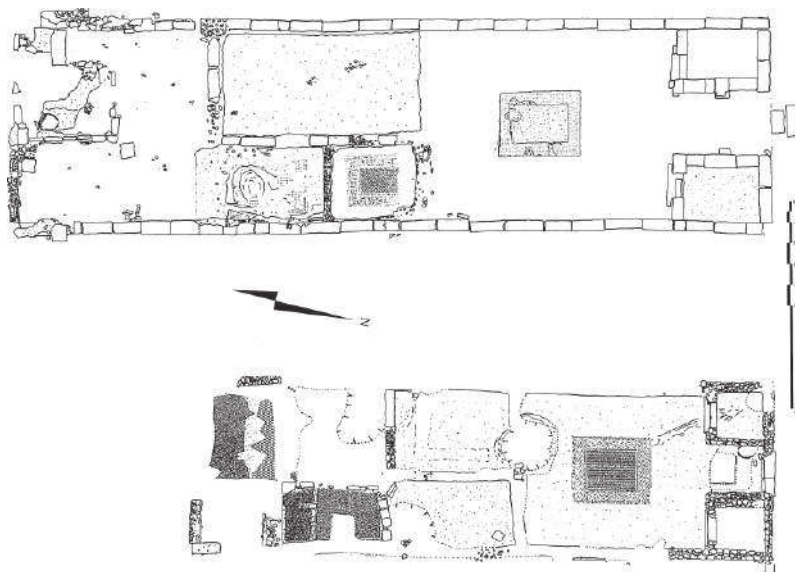


Figura 7.23: Pianta delle case 11 e 17 di Fregellae (da Battaglini e Diosono in Bentz e Reusser 2010)



Figura 7.24: Pianta delle case artigiane di *Kainua-Marzabotto* (da Busana 2018)

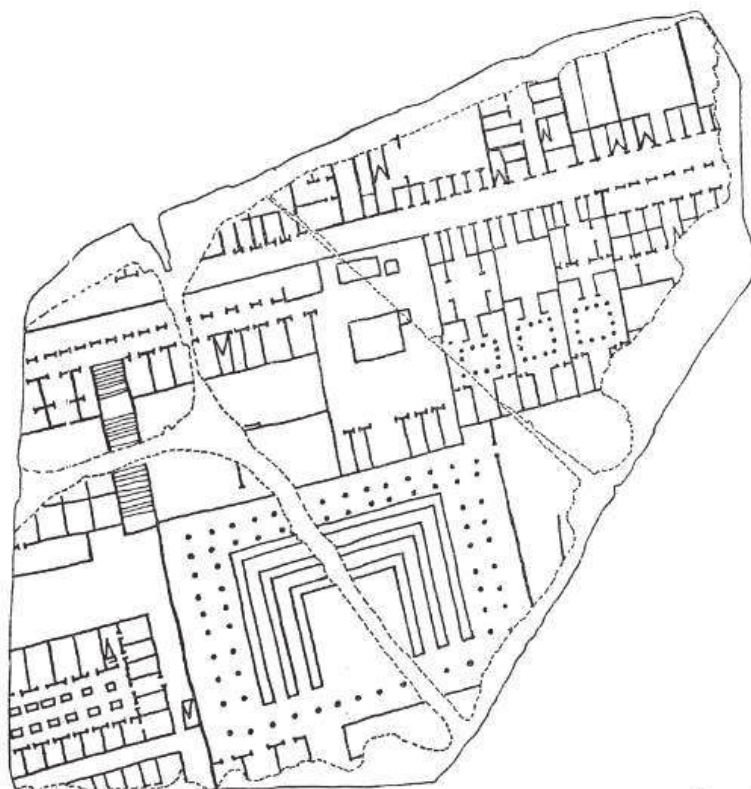


Figure 53. Fragment of the *Forma Urbis Romae*, showing three atrium and peristyle houses and the usual rows of shops (*tabernae*) with triangles indicating staircases to the upper storeys. A.D. 203-11

Figura 7.25: Frammento della *Forma Urbis* con tre case ad atrio (da Boethius e Ward-Perkins 1970)

La comparsa delle *insulae* a Roma è fatta risalire già verso il III-IV sec. a. C., per poter ospitare un numero crescente di abitanti entro il ristretto perimetro delle mura serviane: si calcola che a Roma alla fine del III sec. a. C. ci fossero oltre 44000 *insulae* contro poco meno di 2000 *domus* con una conseguente densità stimabile in circa 80mila abitanti/km² (Boethius e Ward-Perkins 1970). Al di fuori della metropoli e del suo porto, l'unico esempio noto di fabbricato ad appartamenti è la Casa a Graticcio di Ercolano (I sec. a.C.), anche se di soli due piani. In questo edificio si fa abbondante impiego dell'*opus craticium*, l'intelaiatura di legno tamponata con muratura, vituperato da Vitruvio per la vulnerabilità al fuoco. Sempre le città vesuviane restituiscono anche l'abitazione delle classi subalterne della città in estensione, rappresentata dal retrobottega nei casi più fortunati o dal soppalco (*pergula*) del punto di vendita aperto lungo le strade.

L'elaborazione di nuovi modelli abitativi multifamiliari, di diverso tenore, è soprattutto documentato a Ostia a partire dall'età adrianea (II sec. d.C.).

Ad Ostia la città è quasi interamente costituita da *insulae* e *horrea*, i grandi magazzini di derrate destinate a Roma, costruiti nel periodo di massimo sviluppo economico e commerciale, coincidente con l'età degli imperatori adottivi tra il II e il III sec. d. C., esauritosi rapidamente dal 350 in poi (Neudecker 2012). Esempi archeologicamente attestati a Roma sono l'*insula a ridosso del Campidoglio* datata al I sec. d.C. su cinque livelli con piano terra e ammezzato a destinazione commerciale (Carandini e Carafa 2013). L'impianto tipico è abbastanza regolare, a corte circondata da attività commerciali affacciate verso l'esterno, spesso attraverso un porticato a volta. Le strutture sono di solito in opera cementizia con paramento in mattoni o opera mista (reticolata e corsi di mattoni); i divisori dovevano essere in legno con tamponamenti in muratura (*opus craticium*) e il legno è anche usato per solai, coperture e balconi aggettanti.

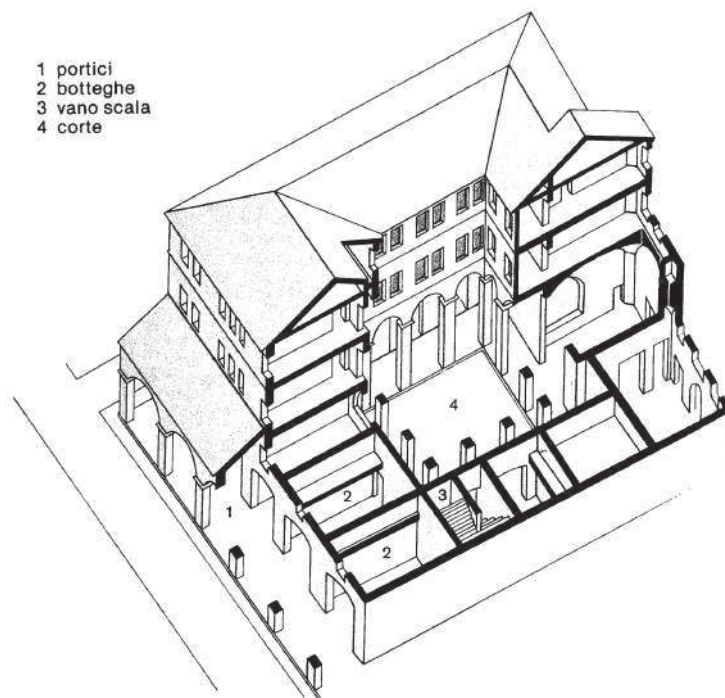


Figura 7.26: Ricostruzione del caseggiato del Serapide a Ostia (da Mueller e Vogel 1996)

7.4.2 L'edilizia media

È tema controverso, anche se non particolarmente approfondito in letteratura, se le “case a schiera” o testudinate siano il risultato di un processo evolutivo autonomo — che è l'ipotesi di Gros 2001, p. 84 che le definisce un «accadimento epistemologico» — o siano effettivamente una semplificazione della casa ad atrio canonico. Dai dati archeologici sembra di poter affermare che si tratti di una varietà indipendente, vicina alla casa greca a *prostas*, cioè una casa piccola, con cortile centrale esteso all'interno larghezza e un piccolo portico che da accesso agli ambienti principali posti sul fondo della casa.

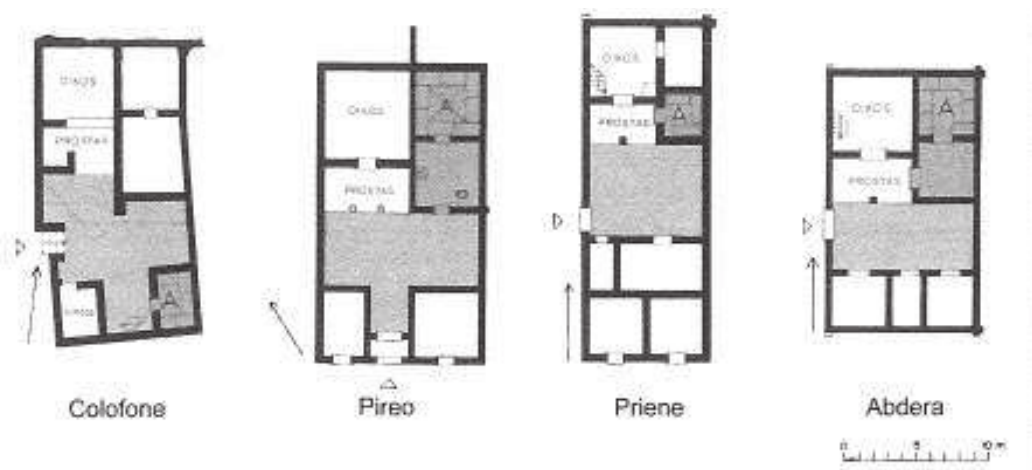


Figura 7.27: Case a *prostas* (da Busana 2018)

A Pompei queste case sono caratterizzate da una costruzione in rapida successione o in contemporanea, condividendo le murature perimetrali lunghe e utilizzando una disposizione dei solai simile; sono facilmente distinguibili per somiglianza di dimensioni — fronti tra gli 8,5 e i 10 m per una profondità di 16-20 m —, distribuzione degli ambienti interni, vicinanza nel tessuto degli isolati. La tecnica costruttiva delle murature mostra minore uniformità, combinando *opus africanum*, opera quadrata in calcare del Sarno e schiuma lavica, tradendo forse la presenza di maestranze diverse, anche per esperienza e formazione (Busana 2018; Zanker 1993).

L'ipotesi avanzata da Hoffmman che questi edifici avessero due piani non appare logica rispetto alla collocazione in un'area sostanzialmente disabitata come la *regio* I all'epoca da questi indicati né la copertura risulta compatibile con la supposta scarsa disponibilità economica dei loro abitanti. Pertanto Nappo (1994), vi legge dei semplicissimi edifici sviluppati in profondità con ambienti disposti per fasce trasversali; le coperture sono per lo più a falde singole, orientate verso la corte o verso fuori, in appoggio su murature distanti circa 5 m o, in caso di distanze maggiori, su pareti rompitratta intermedie. Sono soluzioni assai semplici, che rispondono all'immediata necessità di un tetto più che ad un uso dello spazio per l'ostentazione della gloria familiare. Wallace Hadrill (2015) cerca di risolvere il risultante controsenso di una casa ad atrio di estrazione popolare ritornando ad un concetto di atrio come una corte adibita alle più diverse attività quotidiane: non a caso quando nella fase finale di Pompei gli abitanti della classe media cercano di imitare le case più grandi e le ville della costa campana, il fenomeno interessa gli ambienti grecizzanti

quali i peristili, i triclini, che si cerca di strizzare nei ridotti spazi a disposizione, ma non l'atrio (Zanker 1993).

7.4.3 Le *insulae*

Il termine *insula* inizialmente indica il raggruppamento di lotti edificabili delimitato da strade, ma in seguito assume il significato di casa d'affitto in contrapposizione con la *domus*, che rimane la casa padronale unifamiliare delle classi del patriziato e dei personaggi ad essa assimilabili.

Wallace Hadrill (2015) ha sostenuto che dovesse essere questa la vera "casa romana" poiché la maggior parte della popolazione di Roma doveva abitare in uno di questi fabbricati. Tuttavia si può affermare che si tratta di un fenomeno a carattere molto ristretto, in risposta alla particolare pressione abitativa della capitale, dal momento che nelle località di provincia, dove c'è ancora spazio a disposizione entro le mura, si conserva l'abitazione a sviluppo orizzontale.

Anche le fonti antiche sul caseggiato ad appartamenti sono più sfumate: Vitruvio (II, 8, 17) ne tratteggia l'aspetto, composto di pilastrate in pietra o muratura di laterizi e solai in legno «per collegare le murature», mentre Orazio e Marziale offrono più che altro uno spaccato sulla vita quotidiana in questi edifici. Ostia Antica tuttavia ce ne tramanda un'immagine assai vivida e peraltro assai vicina a quella di una città moderna.



Figura 7.28: Ricostruzione di un'*insula* di Ostia (da Boethius e Ward-Perkins 1970)

L'*insula* nasce come abitazione delle classi subalterne, ottenuta dalla progressiva sopraelevazione della *domus*, i cui ambienti — *cenacula* — vengono affittati separatamente come abitazioni mentre il pianterreno è interamente occupato da botteghe e laboratori. Man mano che cresce il numero di piani per effetto della speculazione, l'atrio diviene da corte rappresentativa un semplice cortile o pozzo di luce, mentre è chiaro che considerazioni di carattere sociale o relative alla sicurezza sono del tutto assenti. Augusto e più tardi

Traiano emanano disposizioni in materia edilizia finalizzate a contenere l'altezza di questi edifici, limitandola a 70 e 60 piedi rispettivamente (21 m e 18 m circa), cioè 6-7 o 5-6 piani. A differenza di Roma, che potrà beneficiare di un certo riordino urbanistico solo dopo il devastante incendio del 64 d.C. — quando l'*insula* con struttura in mattoni e pietra diviene la casa d'abitazione urbana normale in sostituzione della *domus* — Ostia gode di un impianto urbano più regolare, che permette anche la costruzione di *insulae* subordinate ad un progetto unitario.

I grandi complessi ostiensi, databili tra il 200 e il 350 d.C., presentano botteghe con mezzanino abitabile e portico antistante al pianterreno, un primo piano "nobile", con le abitazioni di maggior pregio, infine ai piani superiori le case più piccole, fino a quelle consistenti di un unico vano; rispetto all'introversione della casa tradizionale, i vari *cenacula* hanno la caratteristica di prendere aria e luce soprattutto da aperture rivolte all'esterno, verso la strada, anche se non mancano i casi di abitazioni tutte rivolte sul cortile o quasi privi di affacci corrispondendo ovviamente a diversi canoni di locazione (Neudecker 2012). Molto spesso, data la notevole dimensione di questi complessi, al loro interno compaiono ambienti con destinazione pubblica — *tabernae*, terme e luoghi di culto — o passaggi coperti destinati al pubblico transito proprio per accedere alle funzioni presenti all'interno dell'*insula*, cosicché si ha la commistione tra il distributivo di pertinenza e i percorsi urbani, sfruttando gli ambiti tra le *insulae*, i cortili o i *mediania* (Scagliarini Corlaità 1994); la presenza di queste funzioni oltre ad una serie di servizi "condominiali" — latrine, fontane — rende il fabbricato praticamente autosufficiente.

In base all'impianto distributivo è possibile distinguere: a) fabbricati a corte con o senza portico al pianterreno; b) fabbricati in linea con muro di spina intermedio; c) fabbricati con corridoio distributivo (*medianum*) interno. La classificazione segue anche all'incirca la dimensione degli edifici, poiché i fabbricati a corte sono caratterizzati da un ingombro superiore agli altri due tipi.

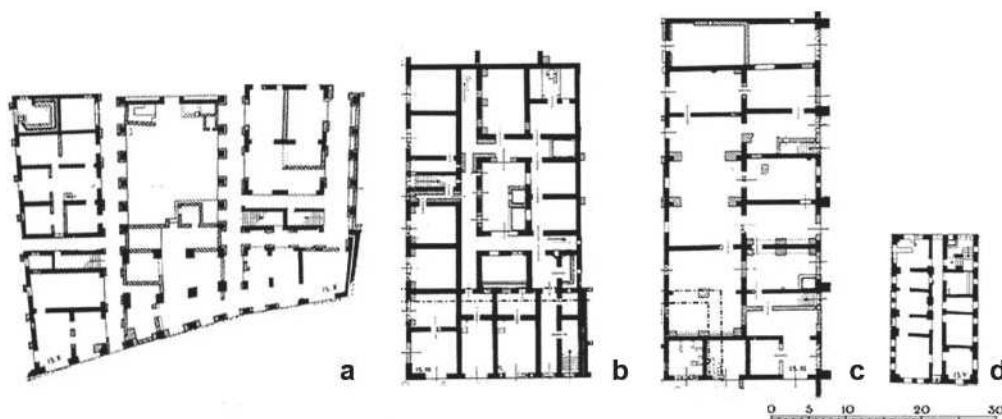


Figura 7.29: Tipi di *insulae* ostiensi: a) a corte con portico; b) a corte senza portico; c) con parete di spina centrale; d) con corridoio centrale (riadattato da Calza et al. 1953)

Così come non è del tutto vero affermare che la *domus* sia solo la casa della nobiltà, esistendo situazioni di *domus* semplici destinate al ceto medio-basso, anche l'*insula* non è solo la casa dei meno abbienti: ciò è confermato dal ritrovamento a Ostia di complessi

spaziosi e ben curati, come le cosiddette Case a Giardino, o caseggiati degli Aurighi e del Serapide che disponevano anche di terme di pertinenza.

7.5 Osservazioni finali

La casa romana ben si presta, nella sua apparente costanza formale consegnataci dalle fonti, ad una analisi di una situazione archeologica più settoriale ma ancora diffusa sull'intero territorio italiano. In realtà, ripercorrendo la vicenda di formazione si nota come la casa romana non abbia una chiara origine e derivi piuttosto dalla sintesi di motivi già presenti in area etrusca con altri di non chiara ascendenza, forse greca. Anche il confronto con le fonti dei casi più chiaramente ad esse riconducibili mostrano significative discrepanze tra l'aderenza ai rigorosi modelli degli antenati latini e la preferenza per un modo di vita raffinato e confortevole di gusto greco-orientale. Altro aspetto fortemente caratterizzante lo spazio dell'abitazione romana è la presenza di una componente pubblica, connessa allo svolgimento di veri e propri "riti sociali" al suo interno. Proprio questi elementi, quello pubblico e quello greco saranno alla base di una progressiva dissoluzione della struttura gerarchica della casa romana aristocratica, la quale tuttavia si conserva almeno fino alle soglie dell'Impero.

Le ricerche archeologiche hanno individuato anche altre forme dell'abitare rispetto a quelle ritenute tipiche nell'immaginario connesso alla casa romana, alcune riconducibili alle forme, ancorché semplificate, della *domus* canonica descritta dalle fonti, altre appartenenti agli strati popolari della società. Proprio tali case "semplificate", caratterizzate da un ruolo significativo nel tessuto urbano di Pompei e Ercolano, risultano di difficile interpretazione alla luce dei modi che ci sono testimoniati dalle fonti. Anche in questi edifici è tuttavia possibile riconoscere una struttura interna della forma in una infinita serie di variazioni particolari.

La casa degli strati sociali più bassi, il fabbricato d'affitto a più piani (*insula*) e il soppalco sopra la bottega non saranno oggetto di successiva trattazione, anche se i corrispondenti minimi accenni storici sono stati forniti.

I ritrovamenti archeologici rendono dunque chiaro che la casa romana è un aspetto dei prodotti edilizi dell'antichità con articolazioni e varianti di gran lunga maggiori cui si sarebbe potuto immaginare dalla sola lettura delle fonti. Ciò tuttavia non rappresenta uno svantaggio dal momento che, anche in un settore archeologico apparentemente così ristretto, è possibile rinvenire una variabilità sufficientemente ampia da poter soddisfare le esigenze di messa a punto del sistema, in rapporto ad un principio di fondo unitario, codificato e riconoscibile.

Capitolo 8

Integrabilità architettonica. Applicabilità delle tecniche tipologiche di interpretazione e progettazione alla casa romana

Il capitolo esplora la possibilità, in rapporto alla struttura concettuale della casa romana e alla sua contestualizzazione storica, nel caso specifico dei siti di Pompei ed Ercolano, di leggere e interpretare questo tipo secondo gli strumenti della composizione e della lettura dell'architettura. Ciò è finalizzato all'individuazione di moduli e schemi geometrici alle diverse scale — urbana ed edilizia — ripetitivi che possano funzionare da base per una progettazione “consapevole” dell'intervento sul sito, prima ancora di fornire un'interpretazione dei fatti archeologici. Si tratta di una lettura a carattere formale e architettonico che non ha la pretesa di individuare “parentele” — nel senso di relazioni temporali — tra i diversi edifici individuati, né gerarchie, nel senso di relazioni a carattere sociale ma si fonda sull'ipotesi dell'esistenza di un progetto o comunque di regole condivise preliminari al cantiere che possano essere utilizzate “a ritroso” per la proposta di schemi astratti.

Se è vero che non esistono “la” città romana o “la” casa romana quali oggetti ideali, astrattamente concepiti e disegnati sul terreno o schematizzati a partire dai tanti esempi esistenti è anche vero che la città romana, forse più di quella contemporanea, è uno spazio funzionale progettato secondo precisi simbolismi e significati religiosi oltre alle regole di estetica (Sommella e Migliorati 1988; Sisani 2014)¹.

Nella città romana l'assegnazione degli spazi agli abitanti seguiva analogamente principi razionali e intenzionalmente regolati che interagivano con le contingenze dettate dalla disponibilità economiche o dall'attività svolta dal committente, dai flussi interni alla città, dalle funzioni urbane ecc.: sappiamo da alcune leggi di fondazioni di colonie romane che l'attribuzione della proprietà privata in area urbana era limitata dal numero di tegole del-

¹Se non è possibile (né sarebbe il caso) formulare una regola generale, visto che la stessa Roma non può essere considerata di esempio in questo senso, è altresì riconoscibile un modo di fare consolidato nella prassi antica che può essere utilizzato come chiave di lettura.

l'edificio. Peraltro l'ampiezza e la forza dei connotati simbolici della città e dell'abitazione romane rispecchiano la mentalità romana, orientata alla gerarchia e all'organizzazione. Al contrario, la città medievale europea sorge in base a principi altrettanto razionali e pratici ma non intenzionali, bensì più strettamente condizionati dalla necessità, dall'opportunità e solo in minor misura dai contenuti simbolici. Tali principi in epoca recente sono stati interpretati quali "leggi" vincolanti l'azione del costruttore (Caniggia 1975; Caniggia e Maffei 1979).

Tale sistema di norme consuetudinarie, già oggetto di critiche all'epoca della sua proposizione (Argan 1966), non può essere utilizzato fuori dal suo ambito storico, ma può tuttavia essere utilizzato il metodo, cioè la *lettura* tramite il confronto e la comparazione delle piante e degli alzati degli edifici.



Figura 8.1: Confronto tra uno spazio urbano aggregatosi secondo: a) i soli condizionamenti fisici e ambientali (centro storico di Polignano (BA), da Caniggia e Maffei 1979); b) uno schema preordinato che si sovrappone al condizionamento fisico (Priene, da Zaffagnini et al. 1995)

Grazie ai nuovi strumenti digitali e alle recenti operazioni di aggiornamento dei rilievi di Pompei, Ercolano e Ostia (quest'ultima non oggetto della presente trattazione), è possibile uno studio sistematico e non limitato ad alcuni isolati campione. L'estensione e il grado di conservazione di questi siti presentano il vantaggio dell'ampiezza e della varietà del campione ma possono essere essi stessi fuorvianti, perché non è possibile, se non in misura ridotta, considerare la reale evoluzione delle abitazioni nel corso del tempo per intere aree urbane. Pertanto i risultati ottenuti possono essere considerati una prima "ipotesi di lavoro" passibile di successivi affinamenti.

8.1 Gli strumenti a disposizione

8.1.1 Il sistema metrologico romano

Fino all'introduzione dei sistemi metrici, le misure dello spazio erano riferite alle parti del corpo umano: piedi, braccia, palmi, cubiti (la lunghezza dell'avambraccio) e così via, come è ancora in uso nei paesi anglosassoni.

Il riconoscimento e la sistematizzazione dei sistemi cosiddetti metrologici è un campo di studi delicato, che dipende da una molteplicità di fattori: a) il cantiere antico (fonti, errori, esecuzione lavorazioni sul posto o in cava; Lugli 1957) —; b) il rilievo moderno

(accuratezza degli strumenti, idea che oggi si ha della misura finale delle strutture); c) le deformazioni impresse alla struttura da secoli di “esercizio” (cedimenti, terremoti, trasformazioni di varia natura).

A seconda degli studi, la lunghezza del piede romano è compresa tra 0,294 e 0,297 m (Wilson Jones 1989), anche se la stima più accettata è di circa 0,296 m. L’uso di questa unità di misura sembra stabilizzarsi attorno al II sec. a. C. per poi rimanere in uso fino al tardo Impero (Lugli 1957). Presso i popoli italici — Oschi, Campani, Umbri (Segrè 1928) — erano in vigore altri sistemi, più antichi, tra cui quello denominato osco-italico rintracciato a Pompei e utilizzato fino agli ultimi decenni del I sec. a.C. (De Waele 1984; Peterse 1984) il cui *pes* (di seguito indicato con «'») si attesta su 0,275 m.

Tabella 8.1: Multipli e sottomultipli del piede romano

nome	misura in piedi	misura in metri
uncia	1/12	0,025
bessales	2/3	0,197
pes	1	0,296
cubitus*, sesquipedalis	3/2	0,444
bipedalis	2	0,592
gradus	5/2	0,740
passus	5	1,480
perticus, decempedes	10	2,960
actus (romano)	120	35,520

* Wilson Jones (1989) indica il cubito come equivalente al piede

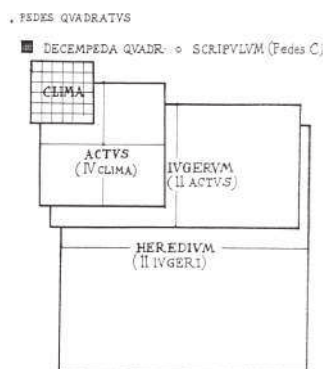


Figura 8.2: Rapporti tra misure di superficie in uso nel mondo romano in Italia (da Ioppolo 1991)

Nonostante Columella ci informi che «il calcolo di qualsiasi superficie è fatto in misure di piedi» (*De re rustica*) a scala agraria e territoriale è più frequente l’uso dell’*actus*, corrispondente al *versus* italico-campano quale tratto arabile da una coppia di buoi prima di farli voltare; il quadrato avente per lato un *actus/versus* è pari alla metà del terreno arabile dagli

stessi buoi in una giornata, detto *iugerum*². *Versus* e *actus* appartengano a sistemi di calcolo diversi, decimale il primo e duodecimale il secondo (Segrè 1928), poiché 1 *versus* = 100 piedi italici e 1 *actus* = 120 piedi romani; per giunta, anche il sistema numerico corrente romano sembra essere passato dalla base 10 di epoca arcaica alla base 12, o, ancora meglio alla coesistenza tra le due. Se infatti, il 10 è vantaggioso nelle somme e nelle moltiplicazioni, il 12 lo è nelle divisioni (Wilson Jones 1989). Un *actus* di 120 piedi permette dunque di avere una molteplicità di frazioni (2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12) che restituiscono tutte misure con un numero intero di piedi, facilmente trattabili per mezzo del calcolo e altrettanto agilmente riportabili sul terreno. Nell'uso del cantiere antico, le principali frazioni e i primi multipli del piede sono tutti individuati da un nome, utilizzato anche per indicare i mattoni e i loro tagli (Lugli 1957; Segrè 1928) a riprova della familiarità di costruire e progettare in questi termini frazionari (Tab. 8.1).

L'adozione di un'unità di misura coerente e riconoscibile dipende comunque dal tipo di edificio e dal modo con cui è costruito: negli edifici piccoli o di pregio — templi, tombe, tesori — in pietra da taglio in genere la cura costruttiva si estende anche nelle misure dei blocchi; in edifici molto estesi — ponti e acquedotti ad esempio — c'è minor possibilità di controllo della regolarità del materiale utilizzato (Lugli 1957).

8.1.2 La composizione dell'architettura classica

Il sistema di progetto in uso nell'arte greca, a partire dalla statuaria, abbandona progressivamente la costruzione modulare per passare ad un metodo proporzionale. Ciò significa che diventa importante il rapporto, in quanto frazione, tra le parti della costruzione e tra la parte e il tutto, e non il fatto che il risultato dipenda da un'astratta unità più piccola, il *modulo*, moltiplicato secondo le esigenze (Panofsky 2010): una cosa è dire che $X=Y/4$, altra che $X=1$ e $Y=4$. Tuttavia anche nell'arte greca esiste il concetto dell'"unità minima" che rientra in tutte le misure della figura, espresso dalla parola "simmetria" che è la possibilità di misurare secondo una misura comune: è per questo che nel latino di Vitruvio la parola viene resa con *commoditas* dove il *modus* è appunto la misura³. La *commodulatio*, sinonimo di *commoditas*, compare non a caso nella definizione di *proportio* secondo Vitruvio (III,1), in riferimento alla coordinazione metrica necessaria alla traduzione in pratica della *symmetria*: una volta decisi i rapporti tra le parti e gli ingombri di queste ultime, deve essere scelto il modulo-unità di misura con cui questi si configurano nello spazio fisico (Ioppolo 1991)⁴. Il modulo deve essere "proporzionato" all'opera da realizzare: non si può costruire una casa adottando come modulo la lunghezza del dito, non si può scolpire una statua basandosi

²Lo iugero dunque è solo misura di superficie, al pari del *versus*, per ottenere una corrispondente misura di superficie dall'*actus* che è lineare di per sé, si fa riferimento al cd. *actus quadratus*. La suddivisione ordinata del territorio nella centuriazione è modulata in genere su quadrati di 20 *actus* lineari di lato cosicché in ciascuna maglia vi siano 400 *actus quadrati* e 200 iugeri di 120'x240': destinandone 2 a ciascun colono si ottengono i 100 coloni da cui deriva probabilmente il nome; cfr. Castagnoli (1959), De Kind (1998).

³La "simmetria" non è, come si vede, la possibilità di specchiare rispetto ad un asse le due parti di un certo oggetto ma in senso etimologico è *syn-metria*, cioè "lo stesso metro", quindi il latino fornisce una traduzione geometrica ma non semantica utilizzando *syn-con* = stesso e *metron-modus* = misura; cfr. il commento di S. Ferri a *De Architectura*, I, 2.

⁴Vale in latino la corrispondenza, anche se sarebbe meglio dire la confusione, tra *modus*(= misura) e *modulus*(= piccola misura); cfr. ancora S. Ferri cit.

sulla misura della gamba o del piede (almeno nella statuaria classica; Panofsky 2010 e cfr. ancora il commento di Ferri cit.). Nel progetto modulare, una volta tracciata una griglia di base, in genere quadrata, gli elementi dell'architettura o dell'oggetto seguono di allineamenti della griglia e i punti salienti di quest'ultima (Fig. 8.3a).

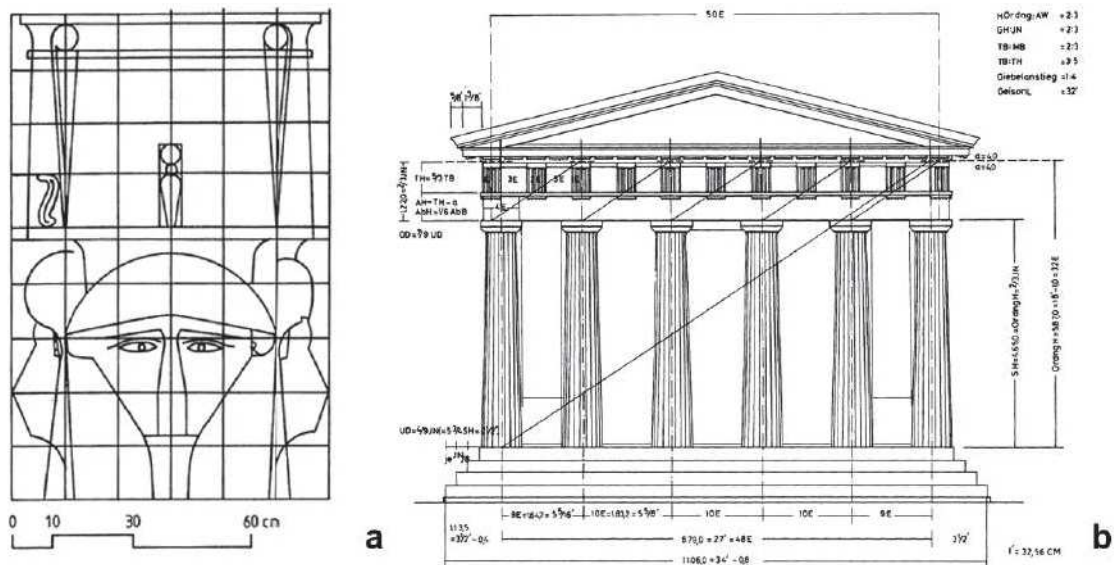


Figura 8.3: metodi di progetto: a) modulare egizio: capitello di Hator, vista frontale e laterale (da Corso 2016); b) proporzionale greco: prospetto del cosiddetto Tempio degli Ateniesi a Delo (da Wilson Jones 2001)

Nel progetto proporzionale invece le parti che compongono l'edificio, in pianta o in alzato, si collocano in rapporto frazionario o multiplo di una dimensione presa come riferimento — larghezza, lunghezza o diametro dell'edificio a seconda della pianta — della quale risultano frazioni razionali o, più raramente, irrazionali (Fig. 8.3b). M. Wilson Jones and J.J. Coulton, negli edifici culturali e monumentali, hanno evidenziato la grande accuratezza nel progetto e nella gestione dei rapporti dimensionali, soprattutto in virtù della preferenza per frazioni dell'unità di base che restituiscano misure intere quando siano tradotte in termini di piedi: una scelta che in rapporto ad un criterio di giudizio moderno sembra assai opportuna perché in grado di contenere gli errori e semplificare le operazioni di cantiere (Wilson Jones 1989).

La fonte principale anche su questi aspetti della tecnica antica è ancora una volta il trattato di Vitruvio, che ci consegna un quadro assai complesso già della sola terminologia, originale greca e latina — modellata sull'esempio di quella —, impiegata per trattare il problema della composizione e della progettazione architettonica antica. Secondo Vitruvio il progetto ellenistico si basa sui tre poli di *ordinatio*, *dispositio*, *distributio*.

Un esame attento della ipertrofica terminologia proposta da Vitruvio non può non tenere in conto che il gergo tecnico del greco e del latino non poteva trovare esatta traduzione a causa della reciproca assenza dei concetti corrispondenti nelle due culture, ma soprattutto del latino nei confronti della raffinatezza del pensiero greco (*De Architectura* I, II, 2). La triade vitruviana secondo l'analisi lessicale e storica di S. Ferri non corrisponde a concetti tra loro distinti e chiaramente definibili, né in latino né in greco, poiché di fatto i tre termini

sono sinonimi⁵.

In linea di massima si possono stabilire le seguenti corrispondenze — ma non equivalenze —:

ordinatio: cioè l'uso di un'unica unità di misura per tutto l'edificio (simmetria) e di un unico sistema per applicarlo (analogia) nella veste di proporzioni e rapporti geometrici tra gli elementi; non ci sono ancora misure effettive a questo livello ma solo lo schema concettuale;

dispositio: cioè l'applicazione nella realtà, che si attua tramite l'euritmia cioè la scelta del modulo (grande o piccolo) a seconda della scala dell'edificio, e le correzioni ottiche, più la risposta a diversi condizionamenti esistenti sul luogo della costruzione;

distributio: è il *propon-decor* cioè l'insieme dei fattori extra progettuali quali i costi, i materiali e i significati, espressi dall'aspetto esteriore della costruzione determinato e determinati dalla proporzionalità esistente tra il significato o il ruolo dell'edificio e le sue caratteristiche.

Wilson Jones (1989) prova invece ad utilizzare l'esempio riportato nel trattato, l'uomo ben proporzionato, per spiegare il concetto che Vitruvio doveva avere di *symmetria*. Nell'uomo si ritrovano i concetti di **misura**, l'unità fondamentale che soggiace proporzionalmente a tutte le membra e da questa è derivata; **proporzione** cioè il fatto che tutte le parti del corpo sono frazioni algebriche dell'altezza complessiva e delle altre parti; **numero** poiché sui numeri sono costruiti i rapporti riconosciuti come significativi per le loro proprietà dalla matematica antica (il 6, il 10 e la loro somma 16); **forma** cioè la possibilità di inscrivere i limiti del corpo in figure geometriche regolari.

In rapporto a queste nozioni, la scelta del modulo con cui tradurre in concreto un'idea geometrica astratta dipende dalle dimensioni dello spazio che si vuole misurare: può essere l'*actus* al livello territoriale della centuriazione; l'*actus* e il *perticus* a livello urbano per la formazione degli isolati e l'assegnazione dei lotti; il *pes* per la scala edilizia della costruzione dell'architettura, del tempio e della casa; il *digitus* per la statua.

L'intima razionalità, nel senso di "costruzione ordinata e proporzionale", del progetto classico permette di affrontare lo studio dimensionale dell'architettura tramite: a) la misura accurata del prodotto edilizio, ricostruendo poi per via statistica, la dimensione del modulo (Peterse 1984); b) lo studio della struttura proporzionale e geometrica del prodotto da cui inferire il "massimo comune denominatore" delle misure individuate (Geertman 1984a). Il primo procedimento è una decostruzione dell'architettura, il secondo una ricostruzione.

L'applicazione delle regole teoriche si basa sulla possibilità di esprimere mediante costruzioni grafiche problemi geometrici semplici e di poter utilizzare direttamente rapporti razionali. In effetti, il problema del raddoppio del quadrato o del cerchio è facilmente risolvibile per via grafica, meno per via computazionale, poiché comporta l'uso di valori irrazionali, a meno di non approssimarli con frazioni razionali trattabili per via aritmetica. Tuttavia, la necessità di dover tradurre tali rapporti in uno spazio costruito reale condiziona fortemente l'architetto nella scelta della dimensione di partenza, che dovrebbe

⁵Si veda ancora il commento di S. Ferri a *De Architectura* in I, 2 e III, 1.

consentire di trovare multipli e sottomultipli di essa che risultino in multipli interi dell'unità di misura. Peraltro la scelta della costruzione geometrica risulterebbe più naturale in pianta, meno negli alzati, dove è più semplice procedere per frazioni semplici, come dimostrerebbe la trattazione dell'architettura teatrale in Vitruvio (Wilson Jones 1989). Geertman (1984a) al contrario sostiene che la ripetizione di specifiche misure e rapporti proporzionali dipenda da fattori esterni, tuttavia condizionanti l'attività dell'architetto: a) la tradizione e l'uso di schemi convenzionali; b) l'esistenza di limiti dimensionali superiori e inferiori riconosciuti adatti per ciascuna categoria di edifici; c) le misure globali proporzionate alla disponibilità economica del committente o al simbolismo della costruzione: fissato un certo campo di variazione di un lato e applicando gli schemi proposti, si trova un certo range di valori nell'altra direzione.

La difficoltà teorica, ma soprattutto pratica, di dover trattare con numeri irrazionali, è risolvibile utilizzando opportune approssimazioni aritmetiche o anche le equivalenti aritmetiche di proporzioni geometriche (cfr. Geertman (1984a) e S. Ferri su *De Architectura*) —. Ciascuna costruzione, geometrica e aritmetica, risulta "precisa" nel proprio ambito di riferimento poiché si tratta solo di modificare il livello di approssimazione con cui si lavora: non è una conversione del disegno dettata da regole casuali, ma un altro disegno, con un proprio sistema di regole, in grado di dare misure utilizzabili in cantiere (Geertman 1984b). Solo per il tracciamento sul terreno delle sole architetture templari — come in *De Architectura* IV, VII, 1 — è ammissibile l'uso della costruzione geometrica "esatta", oppure in età matura, ma negli edifici più antichi e nelle case, il più pratico sistema aritmetico è preferito (Geertman 1984b, Fig. 8.4).

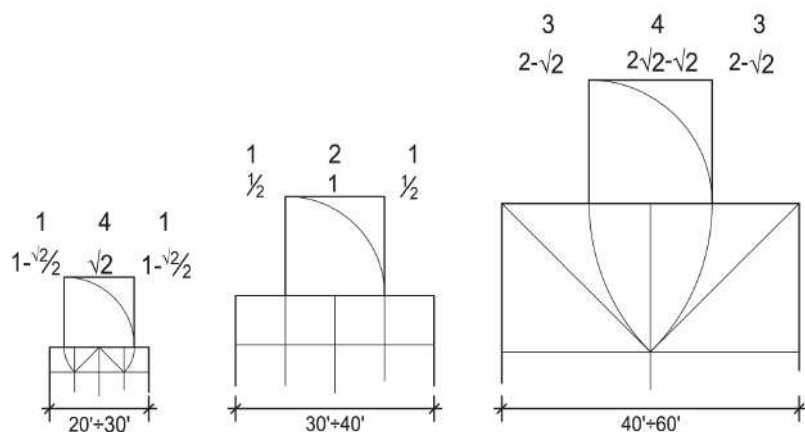


Figura 8.4: Costruzione geometrica e corrispondenti valori geometrici e aritmetici proposti da Vitruvio per il dimensionamento del tablino rispetto alla larghezza dell'atrio (rielaborazione da Geertman 1984b)

Nella costruzione aritmetica i numeri irrazionali come $\sqrt{2}$ o $\sqrt{3}$ vengono approssimati con frazioni razionali, quali $7/5$ o $3/2$ e $7/4$ rispettivamente, e così anche le indicazioni in merito di Vitruvio risulterebbero da una più vigorosa approssimazione degli stessi rapporti tra numeri irrazionali al punto da sembrare appartenenti ad una diversa tradizione o comunque aver perso il riferimento all'impianto geometrico di fondo (Geertman 1984b). Il sistema di approssimazione dei valori irrazionali lascia in effetti margine di interpretazione, perché se $1/\sqrt{2} = 0.707\dots$, può essere rappresentato da diverse frazio-

ni razionali, quali $2/3=0,667$, $5/7=0,71$, che è il valore più prossimo, $3/4=0,75$, il ritmo $1 : \sqrt{2} : 1$ equivale allo stesso modo ai ritmi $2:3:2$, $5:7:5$, $3:4:3$, e analogamente l'atrio coi lati in rapporto $2:3$ equivale a quello in rapporto $1:\sqrt{2}$. L'apparente arbitrarietà delle regole suggerite dal trattatista è spiegabile con una destinazione dell'opera ad un pubblico non esperto, oltre ad una personale interpretazione, tendenzialmente semplicistica, della materia⁶. Le costruzioni non sono alternative, ma come nel già ricordato caso del teatro vitruviano, possono coesistere nello stesso edificio.

8.1.3 Il tipo: la casa romana come casa a corte

La casa greca e la casa romana rientrano, pur con le loro peculiarità, entrambe nel "tipo" della casa a corte⁷. Si tratta della forma di abitare forse più antica che nasce dall'esigenza prima di recintare uno spazio per proteggerlo da incursioni esterne all'interno del quale

⁶Geertman (1984b). Quale esempio delle incertezze di Vitruvio è citato di solito la discussione dell'ordine dorico al cap. III del trattato, ma cfr. anche il commento di S. Ferri relativamente all'impiego della terminologia in I,2. Peraltro in VI, I, 6 Vitruvio loda quei «padri di famiglia che costruiscono da soli, pensando che, se si deve affidare un lavoro a degli inesperti [vale a dire ai falsi architetti contro cui si è scagliato poco prima l'autore], sia più dignitoso per sé stessi spender soldi a proprio piacimento che per quello d'altri».

⁷La riflessione teorica sul concetto di tipo richiederebbe uno spazio eccessivo e invaderebbe altri ambiti di competenza. Sinteticamente si possono riconoscere due letture, espresse rispettivamente da G. Caniggia e dalla cosiddetta scuola muratoriana di stampo idealista e da G. C. Argan e la critica marxista, corrispondenti ad una impostazione da architetti o da storici dell'arte. Il problema è di natura anche filosofica, connessa a quando avviene il riconoscimento dell'oggetto come tipo, a priori (Caniggia) o a posteriori (Argan) della sua creazione.

Secondo Caniggia l'agire umano nell'edilizia — storica, di età medievale in particolare — ottempera alle indicazioni della *coscienza spontanea*, che è «comprensione immediata e sintetica di quel che conviene a formare un prodotto edilizio». Chi agisce è guidato da un patrimonio di nozioni comuni, determinate in un certo tempo e in un certo luogo in conseguenza dell'agire di tutti quelli che agendo prima di lui, effettuano la selezione del modo idoneo per eseguire una certa azione; modo che confluisce nella cultura edilizia di un certo luogo. L'utente — Caniggia esclude che nell'edilizia a carattere residenziale-popolare del Medioevo possa darsi l'intervento di un tecnico, il quale compirebbe tali scelte sulla base delle proprie conoscenze ed esperienze — tende insomma a realizzare un prodotto utile, solido e compatibile (=leggibile) nel suo ambiente di riferimento, poiché tale edilizia è fatta dall'utente per sé stesso. Il tipo è dunque organismo o correlazione integrata di nozioni riunite in una pre-proiezione di quello che sarà l'oggetto realizzato (Caniggia 1969): «La casa è fatta così perché non può essere fatta diversamente, in quanto è quello il concetto di casa vigente in quel dato momento» (Caniggia e Maffei 1979, p. 49). Uscendo dal linguaggio del Caniggia si può immaginare l'edificio quale risultato di una selezione naturale di poche forme convenienti per costruire che ad un certo punto diventano una sorta di "codice genetico" che preordina le creazioni successive, ammettendo pur sempre nuove varianti.

In Argan (1966) il tipo è pur sempre «insieme di esperienze umane» ma solo in quanto «espresse per mezzo di forme»: concetto e sua traduzione materiale non sono pertanto separabili. Di conseguenza il tipo si configura come uno *schema* dedotto attraverso un processo di riduzione di un insieme di varianti formali a una forma-base, che è la *struttura interna della forma*, cioè il principio che implica tutte le determinazioni formali da cui è stato dedotto, ma anche la possibilità di ulteriori variazioni che potrebbero a loro volta indurre modifiche nel tipo, per adattarlo a variazioni nel modo di sentire lo spazio o la forma. «Quando il tipo si fissa esso in effetti già esiste, perché esiste tutta la serie di edifici con un'evidente analogia formale e funzionale, che rispondono a determinate esigenze pratiche, ideologiche o religiose».

In altre parole mentre per Caniggia è possibile ottenere edifici uguali o simili all'interno di uno specifico contesto spazio-temporale in virtù della loro derivazione dal tipo, per Argan solo l'imitazione del modello — oggetto fisico — permette di ottenere opere sostanzialmente uguali nella forma, poiché il singolo oggetto apporta sempre una qualche variazione all'oggetto ideale e tipizzato. Ecco perché per Caniggia il tipo esiste anche prima della creazione dei casi concreti, mentre per Argan esiste solo dopo in quanto modello di tutta una serie di casi concreti.

collocare i propri beni e il proprio riparo (Caniggia 1975)⁸. Sono numerose le società che hanno prodotto, in diverse parti del mondo e in varie epoche, tipi edilizi a corte ma in ciascuna è differente il rapporto che si stabilisce tra la parte aperta e la parte costruita dipendente dal clima, dal modo di percepire lo spazio e dai simbolismi in uso (Fig. 8.5).

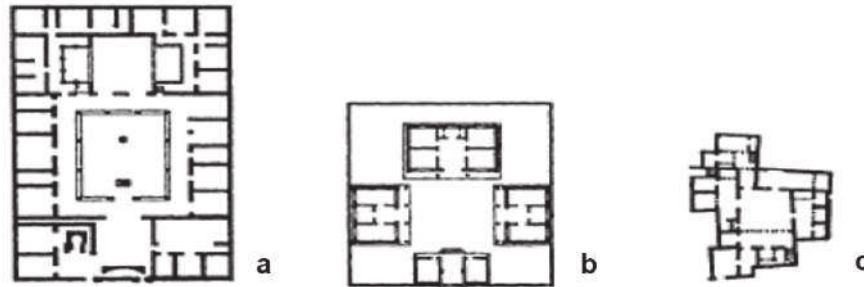


Figura 8.5: Piante di case a corte: a) Itálica (Spagna); b) Fez (Marocco); c) Jilin, Cina (da Petruccioli 2006).

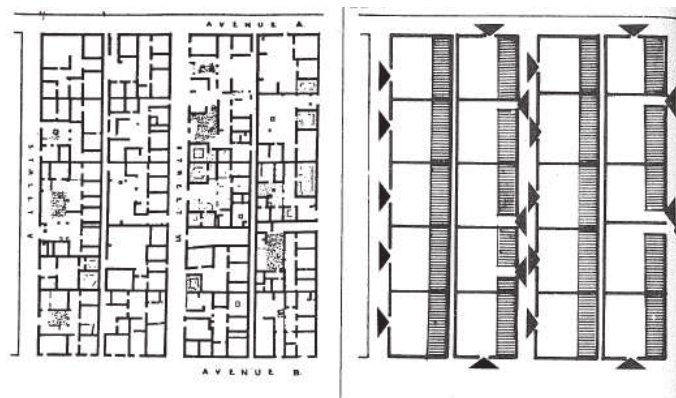


Figura 8.6: Relazione tra abitazione, corte e ingresso a Olinto (da Caniggia e Maffei 1979)

La casa a corte è tipica di ambiti rurali, poiché ha un notevole ingombro territoriale e rappresenta in modo visibile il gruppo familiare. L'esposizione rispetto al sole e la gestione dell'acqua piovana diventano elementi vincolanti, poiché gli affacci avvengono all'interno del recinto così come in quest'ultimo si accumulerebbero le precipitazioni. Un ulteriore fattore può essere determinato dalla posizione dell'ingresso allo spazio perimetrato che potrebbe confliggere con la parte costruita.

Nel linguaggio del metodo tipologico si parla di "tipi di base", "processo tipologico", "varianti sincroniche" e "varianti diacroniche" (Caniggia e Maffei 1979).

L'uso del "tipo" ha altre due ricadute importanti in ambito figurativo e architettonico perché: a) permette di semplificare la comunicazione di significati tra artista-creatore e pubblico, attraverso l'uso di un codice formale convenzionale; b) consente di trovare un precedente strutturale funzionante — vale a dire staticamente efficace — che sia motivo di giustificazione o ispirazione per la propria soluzione. Così ad esempio nella costruzione delle cupole, specialmente a Roma in età barocca, non era infrequente l'adozione dei profili di quelle già costruite, non solo per un motivo estetico ma soprattutto perché questo garantiva, nella logica prescientifica di quei tempi che il nuovo edificio sarebbe stato in piedi; cfr. Bellini (2004).

⁸Questo risultato viene raggiunto mediante un percorso più che altro analogico ed architettonico, poiché i dati archeologici arrivano a Caniggia da interpretazioni ormai superate, quali Buti (1962).

Il tipo di base è rappresentato dalla cellula abitativa minima in cui si svolgono le attività dell'uomo che devono essere al coperto (principalmente il riposo), le altre attività si svolgono nello spazio antistante l'abitazione: la delimitazione di questo "spazio di pertinenza" fisica e concettuale determina la nascita della casa a corte.

Questo primo nucleo, abbastanza astratto nella sua entità per come è stato definito, entra in relazione con lo spazio delle relazioni umane, che è fatto di percorsi, aggregazioni e diradamenti, e con lo spazio territoriale, che è formato da pendii, rilevati e corsi fluviali. Dall'interazione tra questi fattori derivano le varianti sincroniche, cioè le distorsioni allo schema conseguenza della sua applicazione in situazioni anomale o non consone allo sviluppo del tipo.

Così nel bacino del Mediterraneo il tipo base si ottiene immediatamente considerando che l'orientamento migliore si ottiene disponendo la casa sul lato nord della corte, in modo da avere il migliore affaccio, e l'ingresso sul lato sud; se tuttavia l'aggregazione delle case o l'andamento del percorso impediscono di seguire l'asse N-S, la parte costruita si disporrà sul lato dell'ingresso o, addirittura, se l'accesso avviene da nord, qui si troverà anche la residenza (Caniggia e Maffei 1979, Petruccioli 2006, Fig. 8.6).

L'insieme di varianti sincroniche e di aggiustamenti alle contingenze che subisce il tipo nel corso della sua esistenza come abitazione costituisce infine il processo tipologico (Fig. 8.7).

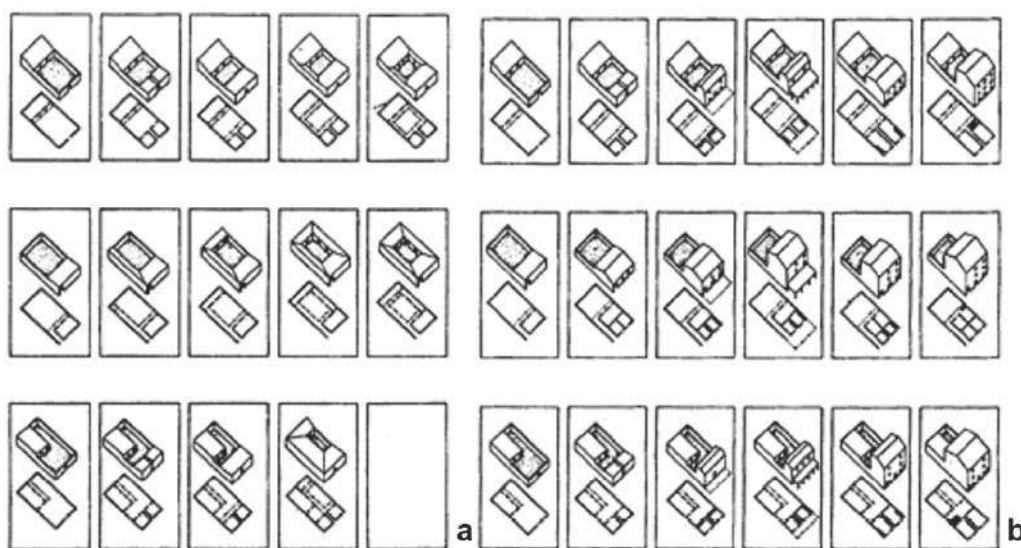


Figura 8.7: Processo tipologico della casa a corte, varianti sincroniche: a) case a corte a un piano; b) case a corte a due piani. In a) lo spazio a disposizione è maggiore e prevale la funzione residenziale di protezione degli spazi interni; in b) la minore quantità di spazio a disposizione e l'importanza commerciale del fronte stimola la crescita in altezza lungo il fronte o tabernizzazione (da Petruccioli 2006)

Le varianti diacroniche corrispondono invece alla comparsa di tipi così diversi da quelli esistenti da esserne di fatto autonomi e dare il via a un processo tipologico autonomo: è il caso ad esempio della casa a schiera o dell'*insula* (intesa come casa plurifamiliare a più piani) entrambe derivate dalla casa a corte ma secondo linee evolutive diverse, rispettivamente dagli ambienti commerciali lungo la via e dagli ambienti residenziali

affacciati sulla corte (Caniggia e Maffei 1979, Petruccioli 2006). Questi processi, noti come tabernizzazione e insulizzazione (Caniggia e Maffei 1979) dipendono dalle dinamiche economiche e sociali interne alla città: dove è prevalente la funzione commerciale si verifica la prima, dove prevale la funzione residenziale prevale la seconda (Fig. 8.8)

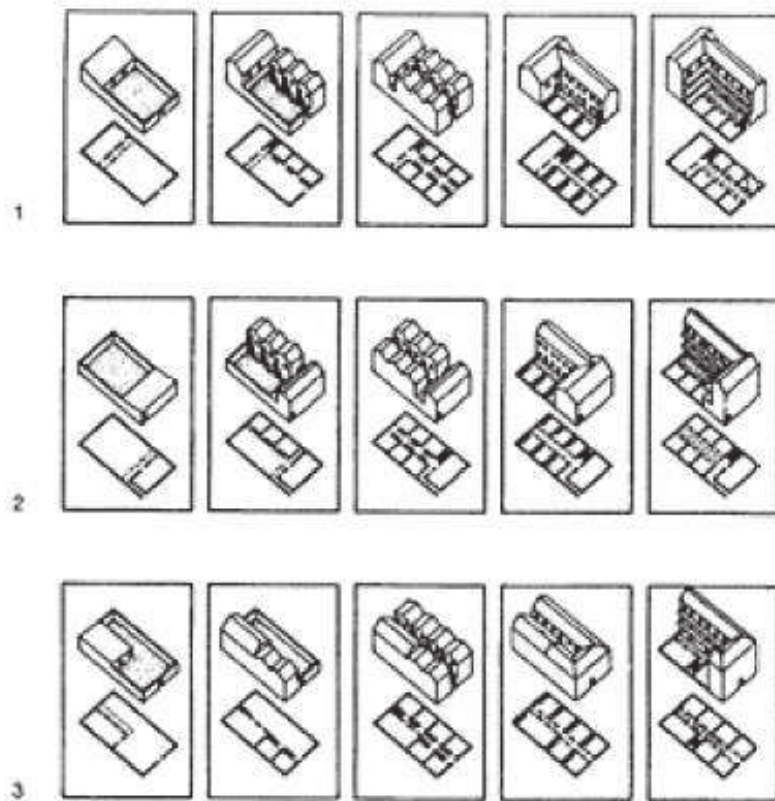


Figura 8.8: Processo tipico di insulizzazione. La compresenza di più nuclei familiari attorno alla stessa corte determina il progressivo intasamento dello spazio aperto e la crescita in altezza di corpi affacciati sulla via-corte interna invece della strada (da Petruccioli 2006)

8.2 Esempio applicativo. Le città archeologiche di Pompei ed Ercolano

8.2.1 Premessa: legittimità di applicazione del metodo

La complessità che ci restituisce il rilievo murario della città di Pompei pone in realtà alcuni problemi teorici non indifferenti:

1. È lecito ipotizzare che le case fossero progettate in origine?
2. È lecito ipotizzare la conoscenza di strumenti di progetto da parte delle maestranze e della permanenza di tali strumenti almeno nel periodo di ripresa e sviluppo della città, quindi dal III sec. a.C. al 79 d.C. quando fu sepolta dall'eruzione?;

3. È lecito ipotizzare che gli schemi originali siano leggibili anche dopo un secolo di trasformazioni edilizie e rifusioni di abitazioni in conseguenza dei cambiamenti del gusto?
4. È lecito ipotizzare che siano ancora leggibili dopo i danni del terremoto del 62 d.C.?
5. Qual è il sistema metrologico in uso a Pompei?

A tali osservazioni si può controbattere come segue:

1. Senza dubbio questo è il punto più controverso. Nel riconoscimento di uno schema planimetrico si devono considerare: a) la varietà dei sistemi di misura antichi e dei modi di applicarli; b) la natura degli schemi geometrici ricostruiti sugli impianti delle case. La verifica sul campo di misure tonde o di assonanze o cicli di misure non è indice di affidabilità e anzi ogni misura andrebbe sempre presa in più sistemi diversi per controllarla esattamente, mentre gli schemi geometrici proposti non devono essere macchinosi o richiedere molti passaggi e divisioni prima di rinvenire gli elementi della pianta⁹. Sicuramente a Pompei dovevano esistere maestranze che sapevano applicare in modo omogeneo una certa tecnica costruttiva — l'opera quadrata in calcare del Sarno delle case più antiche, l'opera incerta in pezzame di pietra lavica delle case costruite dopo la colonia sillana dell'80 a.C. (Zanker 1993) — quindi è lecito immaginare che esse condividessero anche i metodi e gli strumenti progettuali;
2. La conoscenza di costruzioni geometriche del tipo a squadra e compasso che si esplicano in operazioni di suddivisione e moltiplicazione di quadrati e cerchi è stata dimostrata per molti edifici di età adrianea (Wilson Jones 1989) e anche i tracciati di cantiere di cui oggi disponiamo su pareti e pavimenti di templi e altre costruzioni del mondo antico e del Medioevo evidenziano tutti l'uso di questi strumenti e di simili livelli di conoscenza (Corso 2016). Tali metodi dovevano essere senza dubbio preesistenti all'età di Adriano se in quest'epoca erano utilizzati con la disinvoltura e la capacità che si vedono nelle strutture della sua residenza tiburtina. Ciò anche in virtù della permanenza degli strumenti e del sapere tecnico all'interno di una corporazione piuttosto gelosa. Secondo Adam (1990) anche il passaggio di ben 70 generazioni, tra l'età romana e quella del suo studio, non ha saputo determinare una radicale modifica degli strumenti da taglialegna;
3. Molti, come Zanker (1993), sono dell'opinione che il quadro offerto dalla città archeologica attuale sia falsato dagli effetti del terremoto del 62 d.C., cui si sommano il degrado moderno e gli effetti del sisma del 1980. Si sa che molti edifici pubblici erano stati spogliati dei rivestimenti, forse per procedere alle riparazioni strutturali, e in molte abitazioni sono stati rinvenuti materiali edili. Tuttavia è difficile quantificare a questa scala la reale entità delle ricostruzioni poiché richiederebbe uno studio delle stratigrafie murarie puntuale per ogni edificio.
Il progetto di ricerca ANR-RECAP 2015-19 ha cercato proprio di individuare l'entità e l'estensione del danno sismico nella regio VII di Pompei, riportando in un

⁹Geertman (1984a): «La varietà delle misure dei piedi antichi è tale che è possibile ritrovare numeri tondi di differenti piedi in un unico edificio».

Geographical Information System (GIS) le evidenze raccolte (Fig. 8.9)¹⁰. Si nota che le ricostruzioni interessano sostanzialmente i perimetri delle insule, mentre gli interni ne sono per lo più esenti, e ripropongono gli allineamenti murari originali. Le costruzioni *ex novo* sono in realtà abbastanza limitate e sembrano interessare più gli spazi aperti che le consolidate, quali gli atrii, delle case. Questi potrebbero essere considerati quali dati a supporto del mantenimento della “struttura di fondo” dell’abitazione pompeiana anche a valle dell’evento sismico.

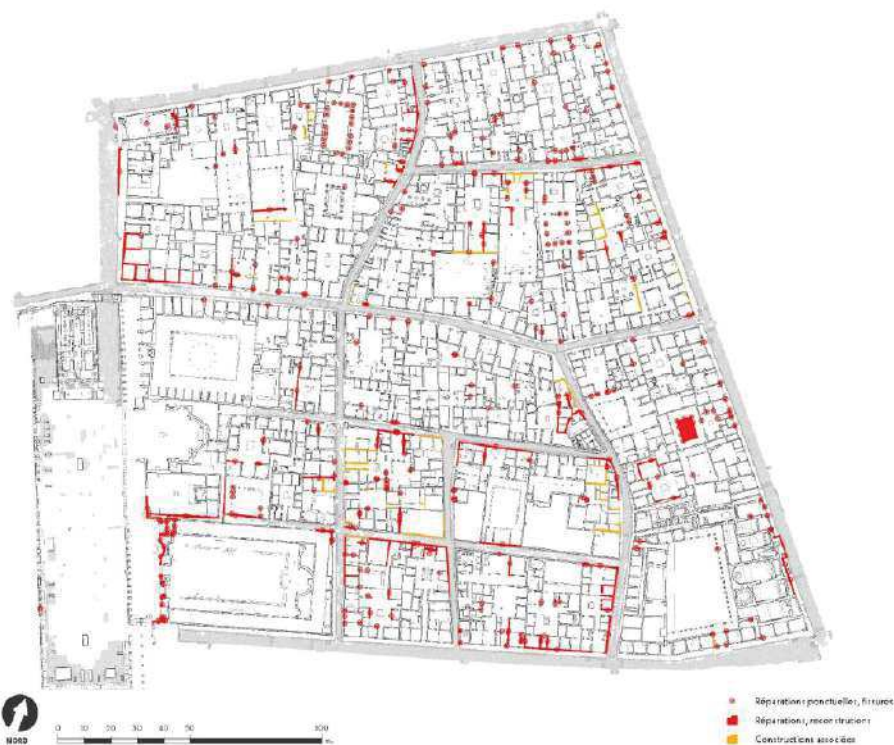


Figura 8.9: Riparazioni e ricostruzioni post-sismiche (in rosso) e nuove costruzioni (in giallo) individuate dal progetto RECAP (da [61])

4. La lettura sincronica delle sole piante come appaiono oggi rappresenta obiettivamente una difficoltà notevole, cui si somma la possibilità di errori di interpretazione — un canaletta vista come muro ad esempio —, tuttavia la datazione, per non parlare della ricostruzione della cronologia delle case pompeiane di per sè è un aspetto che non può essere superato neanche dallo studio dell’intera letteratura disponibile su Pompei. Allora il metodo ha valore in quanto è applicabile in maniera sistematica e non ha come obiettivo un’interpretazione storico-sociale o cronologica (tale casa dipende o dà origine a tal altra) ma solo una lettura formale e architettonica, scevra da considerazioni che solo uno studio puntuale dei resti può dare. Lo sguardo sincronico tuttavia deve essere corretto con almeno qualche osservazione di dettaglio che tenga conto del fatto che la città e le sue abitazioni non sono il prodotto di un

¹⁰I risultati del progetto sono di prossima pubblicazione. Alcune note preliminari sono disponibili all’indirizzo [61]

primo atto fondativo unitario, come può essere in altri contesti, ma è il risultato di qualche secolo di storia, per non incappare in semplificazioni poco fondate e quindi inaccettabili: l'obiettivo è sempre una semplificazione il più corretta possibile del dato materiale, senza cercare di definire leggi o "genealogie" all'interno dei fenomeni edilizi antichi.

5. Hoffmann (1979), Chiaramonte Trerè (1994), Nappo (1994), Boethius e Ward-Perkins (1970) ascrivono la maggior parte delle abitazioni pompeiane al II sec. a. C., quando era ancora in vigore il sistema locale italico, mentre solo Zanker (1993) propende per una datazione più bassa di queste case, all'epoca della deduzione della colonia romana, dunque dall'80 a. C. In realtà già nell'Ottocento H. Mau ritiene che Ercolano, Pompei e Grumentum seguano tutte il sistema del piede osco-italico con un uso sporadico del piede romano — cfr. nota 15 in Hallier 1989, p. 205 —, anche se in genere studi così datati tendono ad essere inaffidabili per la lettura molto generale che offrono. Ioppolo (1991), come ovvio, non si sente di giustificare né l'uno né l'altro assunto né sulla base di un preteso provincialismo dei costruttori, né come effetto di una regola, e il risultato è l'ovvia compresenza dei due sistemi, dove il romano sarebbe riconoscibile negli edifici delle ultime fasi, dalla colonizzazione e soprattutto dal terremoto del 62 d.C.

Al di là che il riconoscimento delle maestranze è un problema assai complesso, si potrebbe immaginare che negli edifici pubblici l'adozione del piede romano preceda la sua introduzione nelle case, dove magari rimangono impiegate maestranze locali più tradizionali. Per il presente studio tuttavia è necessaria una scelta, che è quella del piede osco, poiché l'oggetto sono esclusivamente gli edifici residenziali. Le misure non sono comunque prese al vero ma sulla pianta vettoriale di recente pubblicazione (Morichi et al. 2014).

8.2.2 Impianto urbano e "lottizzazione" a Pompei e Ercolano

La pianta di un isolato di Pompei, se confrontata con quella di un quartiere di Olinto o Priene, mette in luce un complesso intarsio di abitazioni diverse per dimensioni e impianto, che riempiono tutto lo spazio a disposizione, manifestando dopo venti secoli i contrasti sociali che hanno prodotto ad una simile struttura: fianco a fianco si trovano la *taberna* monovano con il letto nell'ammezzato e la *domus* signorile ampia quanto un intero isolato. Tale intreccio di abitazioni di taglio differente ha portato a formulare diverse interpretazioni non solo sulla formazione del tessuto urbano in sé, ma anche del modo di concepire lo spazio e la città degli antichi abitanti. In particolare il dibattito verte sulla possibilità che esso sia il risultato di un processo informale a carattere tipologico oppure della trasformazione di una originale "maglia" più o meno regolare: si tratta pertanto di un problema che si rapporta anche alla cronologia delle fasi urbane di Pompei.

Gli studi recenti (Guzzo 2011, Coarelli e Pesando 2011, Holappa e Viitanen 2011) concordano nel rigettare l'ipotesi dell'esistenza di una zona edificata nella *altstadt*, corrispondente alla *regio* VII e alla zona del foro, da cui poi si sarebbe espansa la città attuale — secondo per esempio H. Geertman in Dobbins e Foss (2007) —, perché sembra che l'intero pianoro fosse occupato in modo sparso da edifici già in epoca arcaica (VI sec. a.C.) mentre le griglie dal diverso orientamento sarebbero il frutto di un riordino intrapreso attorno al III sec.

a.C. in conseguenza di una ripresa del centro abitato.

Per quanto riguarda le dimensioni degli isolati è interessante notare la ricorrenza di certe misure: a Pompei circa 120'×300' (oschi) nelle *regiones* I e II, 120'×500' nella *regio* VI; a Ercolano invece, le *insulae* coprono una superficie pari a 120'×500' a parte gli aggiustamenti relativi alla presenza delle mura (Fig.8.10)¹¹. La presenza di una struttura modulare di fondo, basata sul ritmo della *decempeda* è chiaramente individuabile in molti degli isolati di forma regolare, nelle *regiones* I, II e VI (Ioppolo 1991).

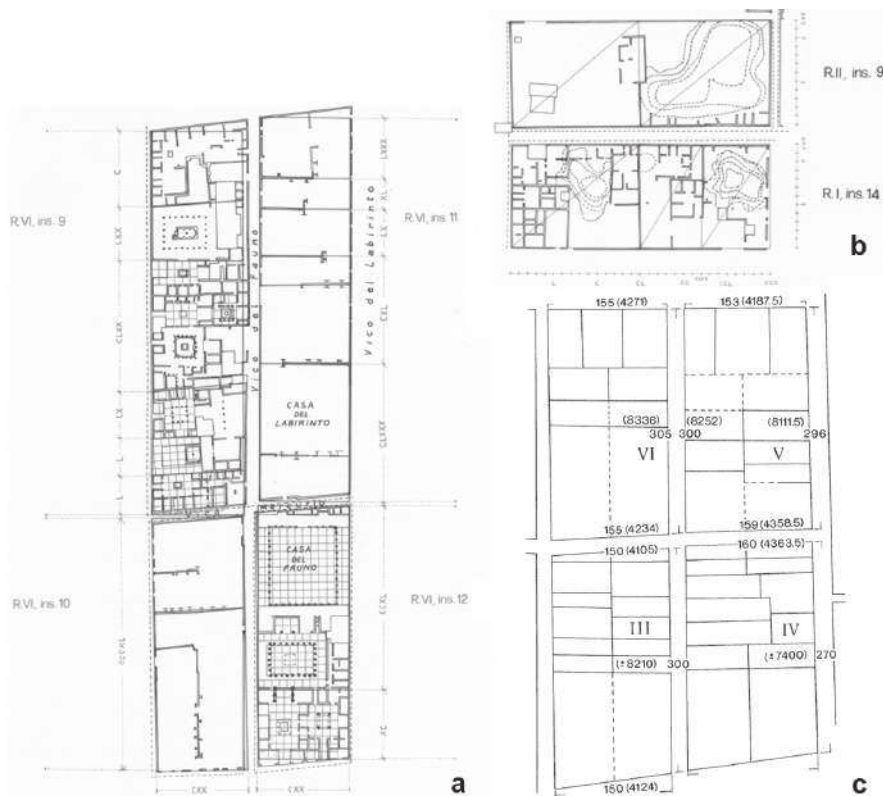


Figura 8.10: Schemi planimetrici di isolati di: a) Pompei, *regio* VI (da Ioppolo 1991); b) Ercolano (da De Kind 1998); c) Pompei, *regio* I (da Ioppolo 1991)

Il 300 è un numero molto significativo per la progettazione secondo i canoni della *symmetria* poiché è divisibile per 150, 100, 75, 60, 50, 30, 25, 20, 15, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2, 1 e 300' equivalgono a 200 cubiti, 60 passi, 2 1/2 actus, e metà stadio: esso dunque è il prescelto per la dimensione di basi di molti monumenti imperiali romani (Wilson Jones 1989) ma queste sue caratteristiche non potevano essere sfuggite agli agrimensori responsabili della creazione di un impianto urbano, perché così tanti divisori assicuravano anche un numero di possibili assegnazioni delle dimensioni dei lotti che poteva soddisfare il più ampio

¹¹Con ciò non si vuole significare che effettivamente si sono rilevate le misure intere, tenuto conto che le misure sono prese su un rilievo e non al vero, ma che si è circa vicini a tali valori tondi. In effetti un errore di 5' su 120' è un errore del 4% circa: non troppo per l'epoca se ancora oggi la tolleranza ammessa per legge è del 2%. L'approssimazione corrente usate nel prosieguo sarà di circa 2 piedi

numero di acquirenti. Anche il 120 assicura un buon numero di suddivisioni intere.

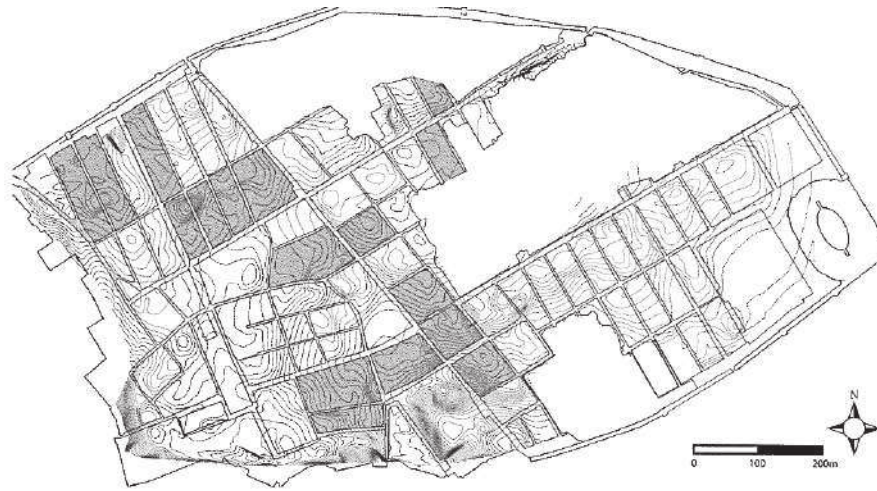


Figura 8.11: Curve di livello del piano di calpestio della città archeologica di Pompei (da Holappa e Viitanen 2011)

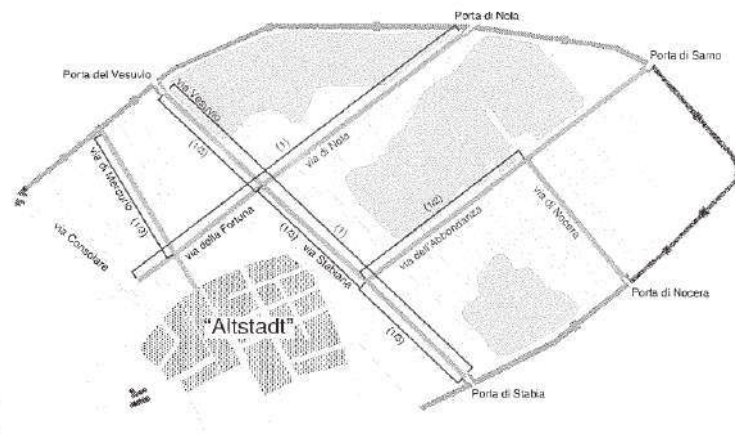


Figura 8.12: Assi portanti e la cosiddetta "alstadt" di Pompei (da Dobbins e Foss 2007)

Interessante è piuttosto il rapporto tra la suddivisione dello spazio urbano e l'andamento del terreno, che non risulta affatto pianeggiante, perché degrada da nord verso sud e da est verso ovest con un rilevato nella zona del foro. La struttura della città sfrutta in modo opportunistico la conformazione del terreno: Via Stabiana, che è l'asse N-S della città, di fatto si colloca lungo un avvallamento; le vie con andamento E-O (via di Nola e via dell'Abbondanza) sorgono lungo cambi nella pendenza; il foro si trova sull'unica area effettivamente pianeggiante mentre il teatro in una scarpata presso l'estremità sud di Via Stabiana. Dove il terreno è più regolare (*regiones* VI e I II) gli isolati si allungano, dove invece è più ripido diventano quadrate (o meglio a losanga (Ioppolo 1991), *regio* IX e parte della *regio* I) consentendo così alle strade di avere un profilo altimetrico regolare. A scala della singola *regio*, avvallamenti e creste minori di fatto determinano gli assi generatori

della maglia e persino la ripartizione delle case all'interno degli isolati (Holappa e Viitanen 2011, Fig. 8.11). Ciò tuttavia non permette di spiegare l'assegnazione dei singoli lotti all'interno degli isolati.

Secondo Zanker (1993) e Cavalieri Manasse e Roffia (1994) lo stato attuale è il frutto di una "lottizzazione" relativamente unitaria, riconoscibile soprattutto nella *regio* I, ascrivibile all'occupazione di Pompei da parte dei coloni inviati da Silla nell'80 a.C. che si sarebbe poi modificata per effetto di continue rifusioni e smembramenti determinati dalla volontà degli abitanti di imitare le forme e i modi dell'abitare presenti nelle case più grandi delle *regiones* VI e VII, trasformazioni edilizie che avrebbero conosciuto il picco dopo il terremoto del 62 d.C. Sembra tuttavia abbastanza improbabile che sole cinque generazioni svoltesi nel secolo e mezzo circa che separa quell'evento dalla distruzione della città possano aver generato tanta complessità, specie a partire da un impianto supposto regolare¹². Tuttavia una ripartizione regolare dei lotti residenziali è stata ravvisata già in Kainua-Marzabotto di epoca etrusca (Merlo 1990). Se è vero che molti ritrovamenti a Pompei confermano gli sconvolgimenti di uso e impianto di molti edifici a seguito del terremoto, una lettura diacronica operata da H. Geertman in Dobbins e Foss (2007) relativa agli isolati VI, 14 e V, 1 conferma da un lato l'adozione del piede osco quale sistema metrologico per il disegno urbano e l'assegnazione dei lotti, dall'altro l'irregolare suddivisione del terreno già in partenza, soprattutto presso gli angoli e i fronti dove maggiore era l'interesse commerciale. Ne risulta un quadro dove i diversi criteri, del progetto e della tipologia, collaborano a definire lo spazio urbano (Fig. 8.13).



Figura 8.13: Schema della suddivisione originale dei lotti negli isolati VI,14 e V,1 (da Dobbins e Foss 2007)

La teoria dell'esistenza di una "città vecchia", nucleo originale, di Pompei è suggerita dalla lettura dell'impianto urbano nell'area del foro e all'interno delle *regiones* VII e VIII è stata recentemente posta in discussione dalle campagne di scavo stratigrafico intraprese a partire dagli anni Ottanta (Chiaramonte Trerè 1994), confermando alcuni spunti già

¹²Si confronti ad esempio l'impianto di Pompei con quello di Fregellae.

riconosciuti da A. Maiuri. Sembra infatti che già nel VI sec. a.C., a giudicare dalla distribuzione di fondazioni in tufo e di altri materiali databili all'epoca arcaica, all'incirca l'intera area della città attuale fosse occupata, forse da abitazioni sparse, anche se già con la presenza del perimetro murario e dei principali allineamenti stradali, in seguito fatti propri dall'urbanizzazione successiva (Coarelli e Pesando 2011; Guzzo 2011). A questa fase di prima espansione ne segue una di evidente contrazione, testimoniata dalla quasi totale assenza di materiale archeologico databile al secolo successivo se si eccettuano i resti proprio del muro dell'*altstadt*. Quest'ultima si configura piuttosto come una contrazione dell'originale abitato — probabilmente costituito da più villaggi — verso il punto più alto del pianoro, quindi meglio difeso, per effetto, ma non si hanno tutti gli elementi per affermarlo con certezza, dell'espansione sannitica a discapito della cultura osco-greco-etrusca — anche questa non meglio identificabile — preesistente. Nel IV sec., pur conservando le dimensioni ridotte, il centro, ora sannitico, mantiene una certa attività con un'area sacra e modeste casette all'intorno (Coarelli e Pesando 2011) fino all'ammissione alle *civitates foederatae* di Roma che sembra dare il via alla vera e propria rivitalizzazione. In questi nuovi sviluppi urbani ed edilizi, databili all'epoca ellenistica (III-II sec. a.C.), si osserva la mancanza di qualsiasi rapporto con le strutture (ma non con le infrastrutture) delle fasi più antiche, che vengono obliterate dagli allineamenti delle nuove costruzioni (Coarelli e Pesando 2011). Anche i tracciati dell'urbanizzazione dovrebbero appartenere ragionevolmente a quest'epoca mentre le tracce della colonia dedotta in età sillana dovrebbero rinvenirsi nel programma di rinnovamento edilizio e decorativo di molte case dell'area centrale, immediatamente a nord del foro come le case di Popidio Prisco, di Arianna, dell'Amore Punito, di Mercurio (Pedroni 2011).

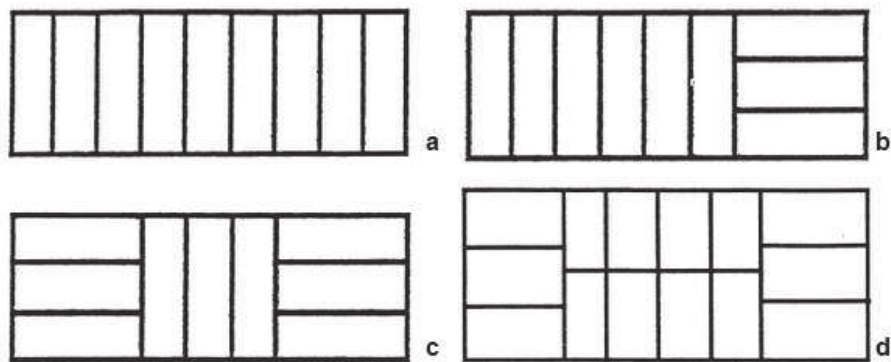


Figura 8.14: Schema della suddivisione in lotti nelle *regiones* I e II (da Nappo 1994)

A conferma della precocità della struttura urbana, è possibile rinvenire i fronti in travertino, rivolti verso le strade di maggior passaggio e comunemente associati a case antiche e di una certa importanza, nelle *regiones* VI e VII anche se numerosi sono anche nella IX e nella I, dove un'intero fronte di *insula* è così composto (Holappa e Viitanen 2011). Di grande interesse per questi studi a livello tipologico è il rapporto tra l'impianto urbano e il terreno della città, che in realtà è molto più accidentato di quello che sembri. A Pompei, le strade principali — la via Stabiana sull'asse N-S, via dell'Abbondanza sull'asse E-O — della città ma anche delle singole *regiones* — così accade per la VI con la via di Mercurio e per la I con la via di Castricio — si collocano in corrispondenza di solchi vallivi o di cenge parallele al

pendio. Il foro e l'area sacra nell'unica area relativamente pianeggiante mentre strade e isolati sono disposte così da collocare le prime negli avvallamenti, in modo da dare loro una pendenza uniforme e i secondi così da contenere i rilevati. Nelle *regiones* I, II e VI dove il terreno conserva una pendenza più uniforme da N verso S è stato possibile disporre gli isolati in modo più regolare, allungandoli nella direzione della pendenza; in altre aree, dove il terreno è più accidentato (*regio* IX e zona della I verso il teatro, più vicina a via Stabiana) le *insulae* diventano più piccole, o addirittura irregolari (*regio* VIII) (Holappa e Viitanen 2011).

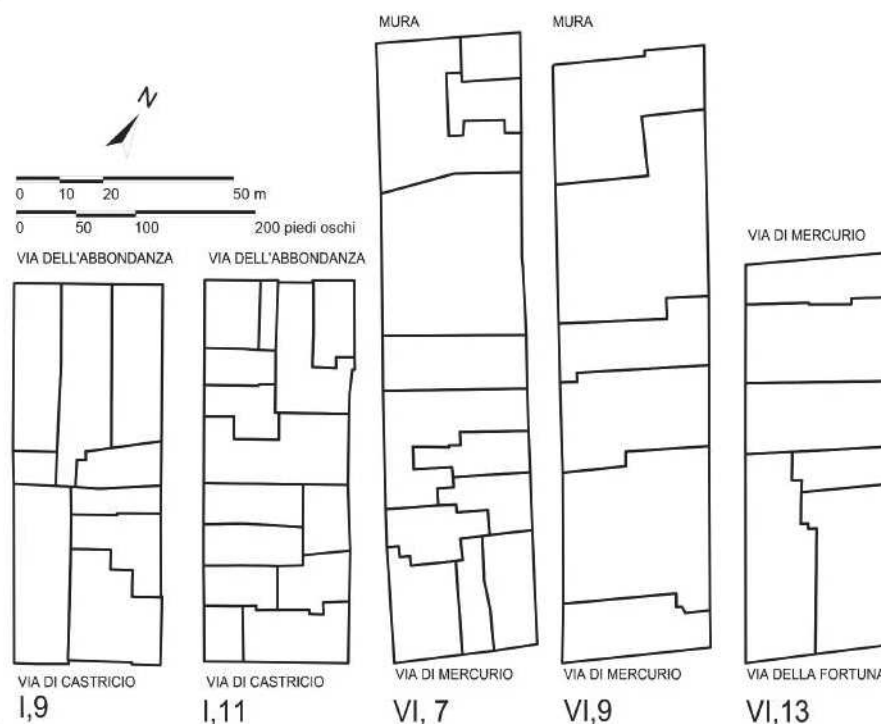


Figura 8.15: Schema della suddivisione dei lotti di alcuni isolati di Pompei

A Ercolano gli isolati sono divisi secondo uno schema geometrico di base relativamente regolare assegnando di fatto pezze di terreno corrispondenti a una frazione del lato dell'isolato su cui si attesta l'edificio. Devono poi essere tenute in conto lo spessore dei muri e la vicenda insediativa: se le abitazioni sorgono assieme allora è effettivamente possibile collocare in muri esattamente lungo le linee teoriche di divisione dei lotti, altrimenti è necessario che ciascuno impianti i propri muri all'interno dello spazio a disposizione e ciò comporta scarti tra la disposizione teorica e quella reale (De Kind 1998)¹³. Proprio la contemporaneità di costruzione sembra rendere operativa la strutturazione interna degli isolati secondo gli schemi descritti da Caniggia e Maffei (1979).

La suddivisione di base sembra sfruttare la forma, stretta e lunga dell'isolato, suddividendolo in parcelle sostanzialmente uguali trasversali all'asse maggiore (Fig. 8.14a): così accade negli isolati II,8-II,9 e VI,2, VI,9 e VI,15. Questo schema corrisponde ad isolati dove il sistema viario perimetrale non presenta attrattiva commerciale o dove il percorso

¹³La preesistenza dei muri d'ambito è quindi uno dei fattori di alterazione tra schema reale e teorico.

“forte” è parallelo al fronte più lungo¹⁴; la suddivisione è più fitta nella *regio* II, dove il fronte della casa misura circa 30', più larga nella VI — da 40' a 60' —, che appare piuttosto come un quartiere residenziale di lusso; la profondità della casa coincide con la profondità dell'isolato.

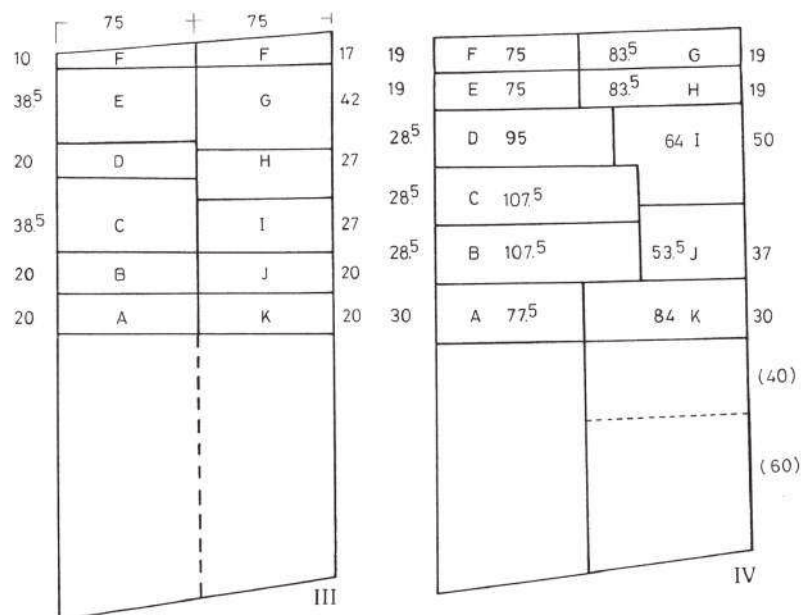


Figura 8.16: Schema della suddivisione dei lotti con le relative misure in piedi oschi degli isolati III e IV di Ercolano (da De Kind 1998)

Gli isolati regolari tuttavia si devono confrontare anche coi percorsi strutturanti lo spazio urbano, rappresentati dai due allineamenti E-O di via dell'Abbondanza e delle vie delle Terme-della Fortuna-di Nola, o coi percorsi interni alla griglia di rilevanza interna alla *regio* quali il vicolo di Mercurio per la VI e la via di Castricio per la I, corrispondenti a percorsi preesistenti al tracciamento della griglia stessa (Holappa e Viitanen 2011). Poiché la direzione principale della maglia è S-O, molti isolati si troverebbero nella condizione di presentare il lato lungo cieco rivolto verso il percorso rilevante: in questi casi si ritrovano le varianti sincroniche del tipo base regolarmente scandito, in cui le case “ruotano” in modo da presentare il fronte principale sul lato corto (Fig. 8.13 b). Nella zona più “popolare” della *regio* I sul lato corto si inseriscono da 3 a 4 case — larghezza 40-30' — o fino a 5-6 botteghe — larghezza 24-20' —, perché a quel punto non si avrebbe più la luce trasversale necessaria per accomodare neanche una delle abitazioni prive di ambienti laterali all'atrio descritte al par. 7.4. Al contrario solo in tre isolati della *regio* VI — 5, 7, 8 peraltro tutti molto vicino all'ingresso della via Consolare da porta Ercolano — è possibile rinvenire sul lato corto tre case affiancate e la norma è due, caratterizzate pertanto da un fronte di 60'. Ulteriori varianti allo schema si hanno quando entrambi i lati dell'isolato si attestano su percorsi importanti — comportando la doppia rotazione sul fronte corto, Fig. 8.14 c —, la cui “forza di attrazione” può determinare una tale pressione sull'isolato da generare anche la suddivisione a metà di quelli più interni (Fig. 8.14 d, Caniggia e Maffei 1979). Tali

¹⁴Così accade per i due isolati della *regio* II affrontati sulla via che conduce ad una delle porte della città.

fenomeni sono ben visibili negli isolati I-8, I-9, I-12 (Fig. 8.15).

Le *insulae* con le case più grandi come le VI, 9-11-13 o VIII, 4-5 si collocano nelle zone più interne delle *regiones* o quelle di minor passaggio mentre quelle fittamente suddivise in case di piccola dimensione — come le VI, 2-16 e VII, 3 — sono prossime alle vie che conducono alle porte della città o agli edifici pubblici: VII, 4 presenta il lato nord lungo la via della Fortuna — sul marciapiedi di fronte guarda la casa del Fauno — con alcune *domus* di grande impegno complete di peristilio, mentre il lato sud, rivolto verso il foro — via degli Augustali —, è fittamente suddiviso in case piccole a fronte minimo.

A Ercolano è evidente un comportamento analogo, che va letto in rapporto al fatto che la parte scavata, presso le antiche mura defunzionalizzate, era probabilmente una zona marginale della città. Gli isolati presentano una scansione più o meno regolare fatta di lotti affrontati sul lato lungo e profondi all'incirca metà del lato corto che si distorce, girandosi, verso i due elementi focali lineari: il mare a sud-ovest per le *insulae* III e IV, il decumano massimo per le *insulae* II e III (De Kind 1998). Proprio sul lato del mare si collocano le assai note ville urbane di Ercolano che occupano da sole un quarto della superficie dell'intero isolato (Pierattini 2009; Fig. 8.16)

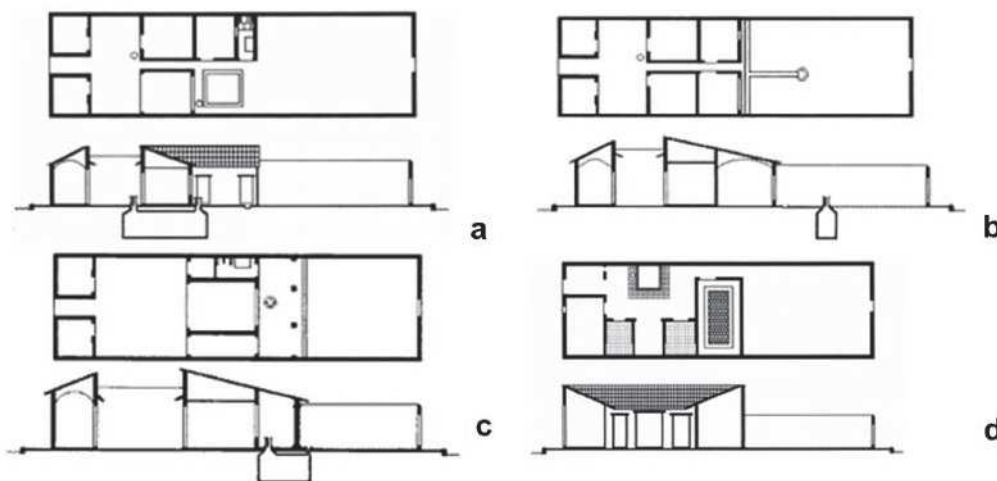


Figura 8.17: Tipi edilizi 1 e 2 individuati da Nappo (1994)

8.2.3 Mappatura tipologica

Classificazioni esistenti

Già alcuni studi hanno riconosciuto “tipi edilizi” in quanto impianti planimetrici ricorrenti sia a Pompei che in Ercolano.

Nappo (1994) individua quattro tipi di case minime, diffuse soprattutto nelle *regiones* I e II, caratterizzate da una grande somiglianza di impianto. Tre possono rientrare in un unico gruppo caratterizzato dalla centralità dell'ingresso, collocato nella mezzera del “atrio” posto al centro della casa. Poiché sul lato di ingresso si riscontra sempre la presenza di due piccoli cubicoli simmetrici, la distinzione si gioca sugli ambienti posti al di là dell'atrio, come segue: 1) tablino rivolto verso l'atrio separato da un corridoio dagli ambienti di servizio, la copertura è a L e convoglia l'acqua verso uno spiazzo di

raccolta posto nel giardino (Fig. 8.17 a); 2) manca il tablino ma rimane il corridoi interno, la copertura a falda semplice indirizza l'acqua verso la cisterna posto in fondo alla casa (Fig. 8.16 b); 3) il tablino si amplia e occupa gran parte della larghezza della casa, il resto è dedicato ad un corridoio e a uno stretto cubicolo, la copertura è ancora a falda unica (Fig. 8.17 c). Il quarto tipo individuato da S. Nappo si caratterizza per la posizione decentrata dell'ingresso, accostato ora ad una delle pareti lunghe, che immette in un impluvio dove convergono tre sole falde (Fig. 8.17 d). Rispetto all'ipotesi di Hoffmann che queste case fossero interamente coperte (cfr. par. 7.4) le soluzioni qui presentate si caratterizzano per una maggiore economia costruttiva e anche una maggiore logicità rispetto alle esigenze di vita degli abitanti.

La classificazione proposta da Wallace-Hadrill (1994) sulla base di un campione di 234 abitazioni distribuite tra Pompei ed Ercolano permette di individuarne 4 tipi (Fig. 8.18). Il criterio utilizzato è di tipo multiplo, basato più che altro sulla dimensione dell'impronta a terra e sul numero di ambienti interni alla casa mentre la lettura formale consente di distinguere alcuni sotto-tipi; in particolare vengono individuati quattro quartili nella distribuzione statistica delle superfici di impronta a terra, cfr. Tab. 8.2. Nel **tipo 1**, corrispondente al primo quartile, risultano negozi e laboratori alcuni dei quali non utilizzati come abitazione perché composti da un solo ambiente, altri con due ambienti o con le tracce di una scala che conduceva all'ammezzato dovevano anche avere funzione residenziale. Nel **tipo 2** (secondo quartile) ricadono sia negozi con più di un ambiente sul retro, di cui forse quello centrale serviva da spazio di distribuzione intermedio, sia case ad atrio molto piccole, del tipo ad atrio privo di ambienti lungo le fiancate alcune anche con ricche decorazioni (casa I,7,3 di Fabius Amandio). Sono frequenti tracce di scale verso i piani superiori in questa fascia. Nel **tipo 3** ricadono le case canoniche con impianto tendenzialmente simmetrico comprensivo eventualmente di un peristilio o del giardino sul retro; la superficie di queste case rientra nel valore medio di Pompei riconosciuto dallo studioso e il numero di stanze varia tra 5 e 15. In alcuni casi sono stati scorporati i negozi e le relative pertinenze sul fronte stradale. Nel **tipo 4** ricadono le case più grandi e più note di Pompei caratterizzate dalla presenza dell'atrio tradizionale e del peristilio. Quelle al di sopra del 1000 m² di pianta presentano anche due atri. Sono caratterizzate in media da una trentina di stanze ma lo spazio aperto molto spesso è prevalente rispetto a quello coperto.

Tabella 8.2: Superfici, spazi e stanze relative ad un campione di 234 abitazione (da Wallace-Hadrill 1994)

Quartile <i>m</i> ²	Superficie totale media <i>m</i> ²	Superficie scoperta media <i>m</i> ²	Numero medio stanze	Densità (stanze: area)
10-45	25	0	1,4	1:18
50-170	108	1	4,7	1:23
175-345	246	16	8,4	1:29
350-3000	714	104	16,4	1:45

Wallace-Hadrill utilizza per formare la sua classificazione, che dipende anche da una conoscenza diretta degli edifici da lui analizzati, i fattori di:

Dimensione: impronta a terra, numero di stanze, spazio coperto e spazio scoperto

Funzione: individuazione delle aree residenziali, commerciali, orticole o di servizio all'interno del lotto

Architettura: presenza e caratteristiche degli elementi architettonici riconoscibili nella casa, quali l'atrio e il peristilio;

Decorazione: numero, livello e tipo di decorazione possono dare informazioni sulla datazione dell'edificio e sul livello sociale degli occupanti

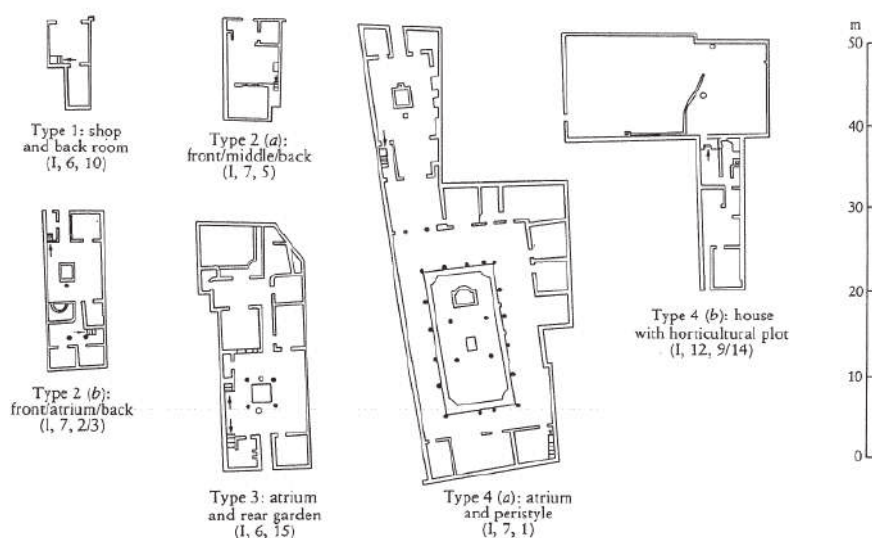


Figura 8.18: Tipi edilizi individuati a Pompei da Wallace-Hadrill (1994)

L'interpretazione di Zanker (1993) del costruito di Pompei si basa sulla volontà delle imitazioni da parte degli strati inferiori della popolazione libera e in grado di permettersi una casa di proprietà di quelle che erano le ville sorte lungo la costa napoletana e delle case più grandi (del Fauno, del Menandro, del Labirinto) della stessa Pompei. La classificazione proposta dallo studioso contempla pertanto: 1) case ellenistiche (Fig. 8.19 a) con atrii multipli e peristilio; 2) ville in miniatura (case di Apolline, dell'Ancora, del Moralista), cioè case minime sul tipo delle "casette a schiera" di Hoffmann trasformate in spazi di lusso grazie ad un rinnovamento del programma decorativo e l'annessione di giardini e peristili in posizione laterale rispetto alla casa originaria (Fig. 8.19 b); 3) case minime trasformate (case dell'Efebo, dei Ceii, del Granduca) attraverso l'annessione di singoli ambienti o piccoli cortili all'interno dei quali inserire elementi decorativi e parti, miniaturizzate e smembrate, delle case più grandi: fontane, triclini, oeci, peristili: si caratterizzano per misure contratte e impianti molto irregolari (Fig. 8.19 c). Si tratta di una classificazione molto orientata e pertanto difficilmente utilizzabile per altri scopi, la quale tuttavia ha il merito di inquadrare determinate deformazioni dell'impianto geometrico originario della *domus* pompeiana all'interno di un preciso fenomeno storico.

A Ercolano (Pierattini 2009) individua molto semplicemente tre tipi da lui definiti rispettivamente "italico", "sannitico" e ad "atrio e peristilio" distinti non solo sulla base dell'impianto ma per materiali costruttivi e datazione. Le case di tipo italico e sannitico

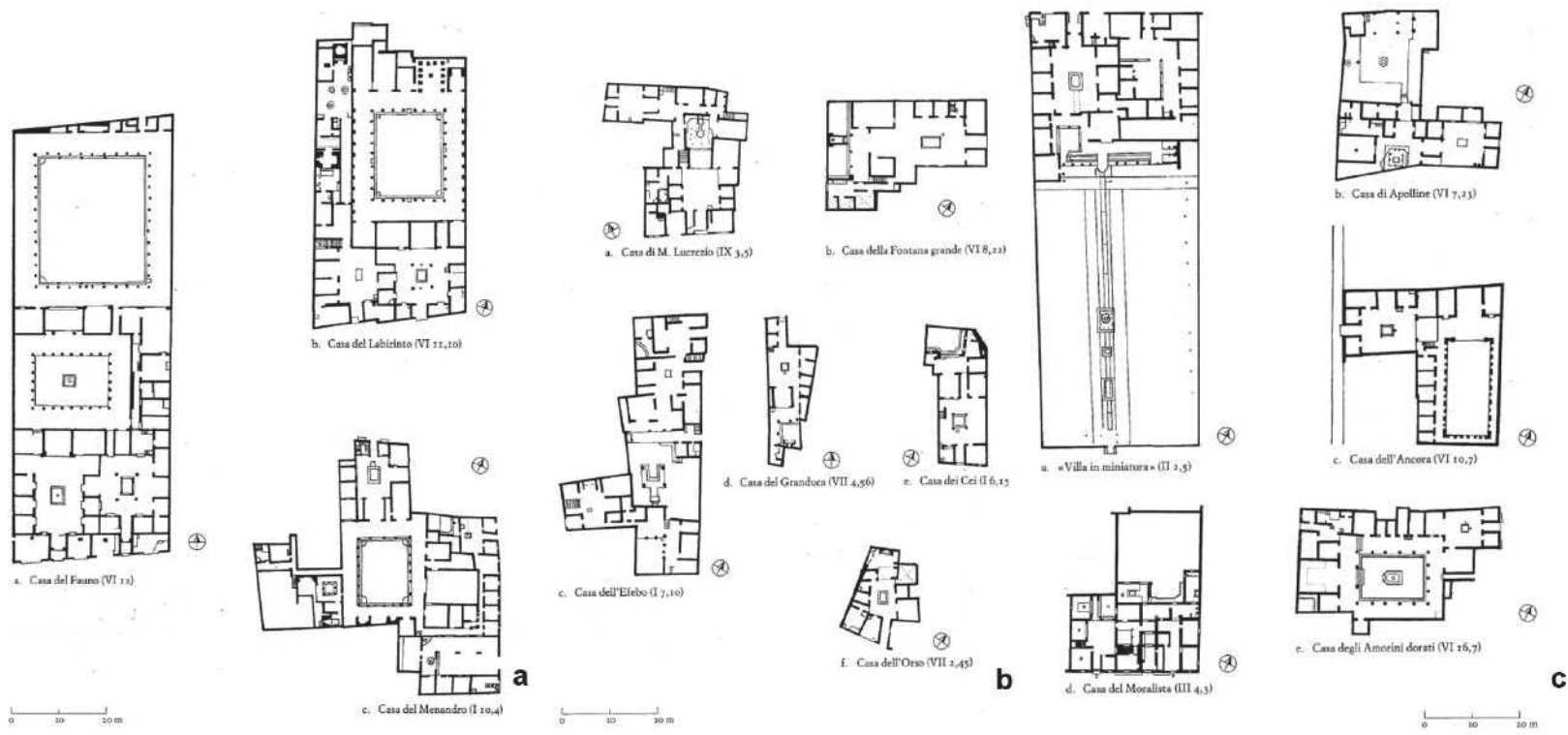


Figura 8.19: Case definite dell'élite sannitica Zanker (1993)

risalgono al periodo IV-fine II sec. a.C., vi si impiegano blocchi squadrati di tufo e sono caratterizzate dalla presenza di un atrio tuscanico privo di cubicoli laterali o al massimo su un lato. La casa ad atrio e peristilio è di epoca più tarda — dal primo I sec. a.C in avanti —, realizzata in materiali tipici della prima età augustea quale l’opera reticolata di tufo e presenta l’atrio con la conformazione canonica, che prosegue nel peristilio.

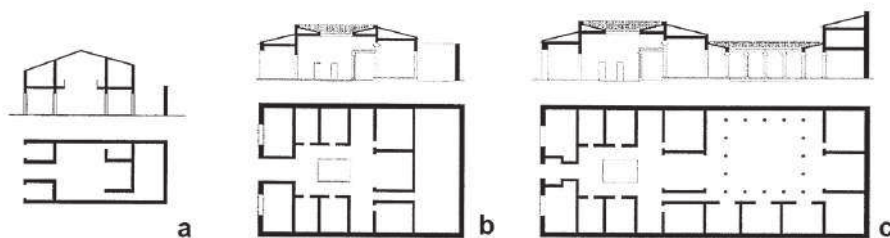


Figura 8.20: Tipi edilizi individuati a Ercolano da Pierattini (2009): a) “casa italica”; b) “casa di età sannitica”; c) casa ad atrio e peristilio (“sannitica ellenizzata”)

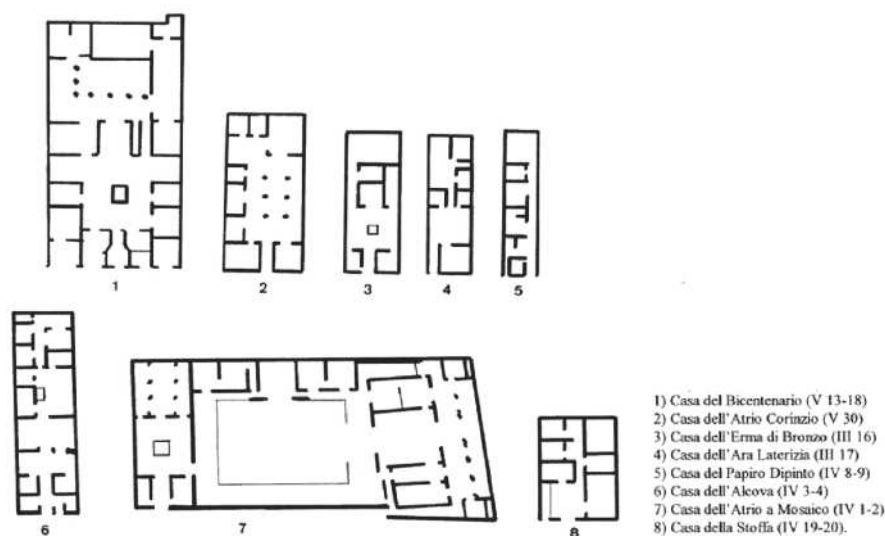


Figura 8.21: Tipi edilizi individuati a Pompei da De Kind (1998)

Nissin (2015) propone 6 tipi determinati in funzione dell’impianto planimetrico: 1) case ad atrio con giardino o peristilio; 2) case ad atrio senza giardino o peristilio; 3) abitazioni con pianta atipica; 4) abitazioni con spazi di vendita; 5) *tabernae* con soppalco residenziale; 6) grandi ville suburbane con o senza vista sul mare. La studiosa tuttavia non fornisce una propria classificazione delle case di Ercolano se non per i pochi casi di suo interesse. La distinzione di De Kind (1998) è più articolata in quanto comprende ben 8 tipi (Fig. 8.19) riferendosi alla larghezza della casa e alla distribuzione dello spazio interno — riferito alla configurazione originale — come segue: 1) case con un fronte di almeno 50’ che consentano di poter ospitare all’interno l’atrio e i cubicoli su entrambi i lati: è il tipo canonico; 2) il fronte si attesta sui 40’ e c’è posto per un atrio e una sola fila di stanze; 3) la larghezza si riduce a 30’ o, se si detrae la muratura preesistente a 27’1/2, sono presenti ambienti solo sui lati corti dell’atrio; 4) è un gruppo di sole quattro case nell’*insula* III caratterizzate da

un fronte di soli 20' con un unico ambiente sul fronte e due sul fondo dell'atrio separati da un corridoio; 5) case a fronte stretto (al massimo 20') con sviluppo in profondità in cui gli ambienti sono serviti da un unico corridoio affiancato ad un lato lungo; 6) case a fronte largo (27'-30') sviluppate in profondità con corridoio laterale: identiche al tipo precedente ad eccezione della larghezza; 7) case grandi con peristilio derivanti dall'unione di più lotti e di epoca relativamente tarda; 8) case altrimenti non collocabili ricavate da lotti irregolari e ritagli determinati dalla suddivisione dell'isolato.

Classificazione proposta

Classificazioni così schematiche e basate sull'astratta ricostruzione dei modelli a partire dalle fonti o inferiti dagli esempi concreti quali quella proposta da Pierattini (2009) risultano poco funzionali ad una reale applicazione pratica, così come la particolarissima interpretazione di Zanker (1993) è una lettura che ha riscontri più che altro nel campo degli aspetti figurativi della casa pompeiana che in una sua reale e pratica utilizzazione. Le letture di Nappo (1994), De Kind (1998) e Wallace-Hadrill (1994) si basano al contrario su criteri pratici e presentano margini di sovrapposizione, consentendo di dedurre la classificazione di seguito esposta.

1. **Case minime a corridoio.** ase strette e lunghe prive di atrio e servite da un unico corridoio posto al centro o sul lato della casa su cui si affacciano gli ambienti interni; corrispondono ai tipi 5 e 6 di De Kind (1998);
2. **Case minime ad atrio.** Case strette e lunghe con atrio centrale esteso a tutta la larghezza della casa con ambienti posti sui soli lati corti del rettangolo di pianta, ai lati e di rimpetto dell'ingresso; corrispondono ai tipi 1-3 di Nappo (1994) e in passato erano riconosciute quali case a "schiera" o ad atrio testudinato (Hoffmann 1979, Pesando e Guidobaldi 2006);
3. **Case ad atrio eccentrico.** Case strette con atrio poggiate su una delle pareti perimetrali, in genere quella a sud, e ambienti disposti sui tre lati circostanti, con ingresso accostato ad uno dei lati lunghi. Corrispondono al tipo 4 di Nappo (1994);
4. **Case canoniche.** Corrispondono più o meno perfettamente al tipo della *domus* italico-romana, con atrio —di qualsiasi tipo— circondato da cubicoli sui quattro lati, ali e tablino, retrostante peristilio: tutto quanto possa corrispondere al modello ideale di *domus*;
5. **Case ad atrio multiplo.** Il nome è dovuto all presenza di più atri di piccola dimensione affiancati o altrimenti disposti per la rifusione di unità preesistenti all'interno di una nuova abitazione di vaste proporzioni;
6. **Case non tipiche.** Si presentano con lotti molto irregolari, disposizioni particolari —lungo le mura— o che hanno subito divisioni o ampliamenti tali da non rendere più riconoscibile la struttura originaria o ancora che non è immediato ascrivere ad una tipologia senza una maggiore conoscenza.

La struttura geometrica della casa romana

La complessità della divisione proprietaria di Pompei, in minor misura di Ercolano, ha lasciato perplessi molti studiosi (Wallace-Hadrill 1994, De Kind 1998) soprattutto se confrontata con la pianta di alcune delle città greche quali Priene, Olinto, Kassope o Mileto dove al contrario i lotti sono tutti uguali, indipendentemente (o quasi) dal livello sociale degli occupanti (Fig. 8.23). Alcuni ha voluto vedere l'espressione fisica e spaziale dell'ideale sostanzialmente democratico greco e sostanzialmente aristocratico romano (Chiaromonte Trerè 1994), ma quello che più importa è che si tratta di una condizione oggettiva che deve trovare un'interpretazione.

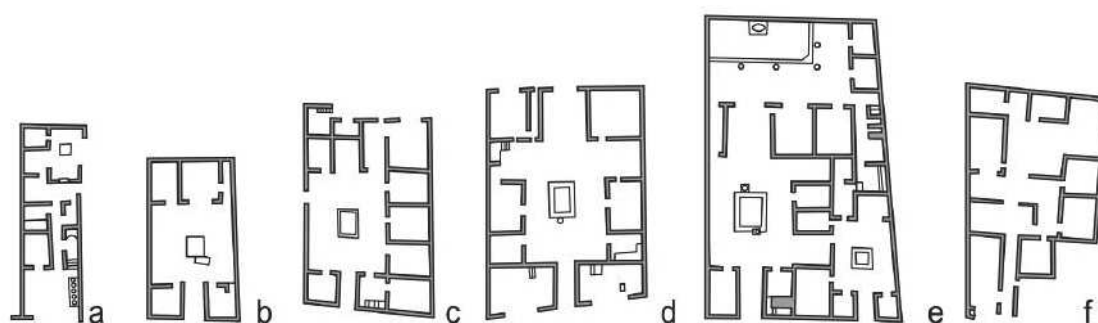


Figura 8.22: Tipi proposti di case: a) minima a corridoio (VII, 3, 38); b) minima ad atrio (VI, 2, 13); c) ad atrio eccentrico (VI, 9, 7); d) canonica (VI, 13,6); e) a due atrii (VI, 8, 23); f) non tipica (VII, 12, 26)



Figura 8.23: Differenze nell'assegnazione della proprietà urbana: a) Olinto (da Wallace-Hadrill 1994); b) Pompei, *regio VI*

Si è visto in precedenza come la casa a corte cui può ricondursi tanto l'abitazione greca che quella romana abbia un condizionamento fondamentale nell'orientamento solare.

Così accade per le case di Olinto e Priene, dove, a dispetto della regolarità del lotto, la disposizione degli ambienti interni è tale che se la porta è a sud, seguono la corte e poi il peristilio o il portico-*pastas* fatti in modo da essere più profondi sul lato nord, in modo da proteggere dal sole d'estate ma lasciar filtrare il sole basso d'inverno (Zaffagnini et al. 1995). Se la porta invece si trova sul lato est o ovest, la casa si annida nell'angolo in modo da sfruttare meglio la posizione svantaggiosa (Fig. 8.24).

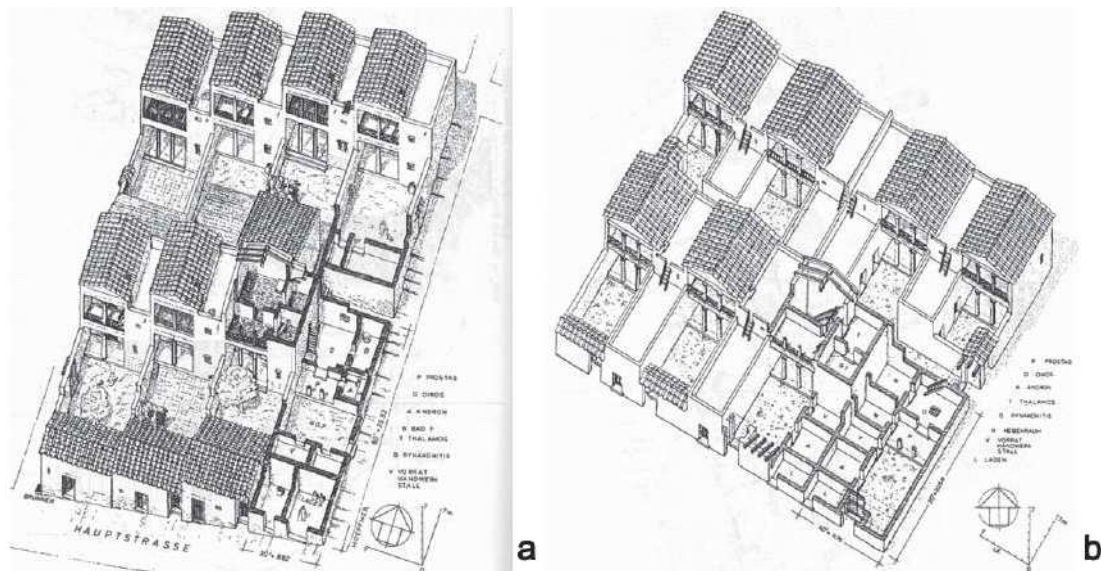


Figura 8.24: Sequenza degli spazi rigidamente orientati nella casa greca: a) Priene; b) Pireo (da Zaccaria Ruggiu 1995)

Tuttavia la *domus*, almeno a Pompei, presenta dei condizionamenti esterni prevalenti sia sull'esigenza della qualità della vita interna determinata dall'illuminazione sia rispetto alla posizione nel tessuto urbano: la successione ingresso-atrio-tablino o comunque l'allineamento coordinato di ingresso e spazio distributivo centrale è indipendente, o quasi, dall'orientamento dell'abitazione e si ripete qualsiasi sia la disposizione della casa nel tessuto urbano (Fig. 8.25). La concatenazione delle viste e la subordinazione degli spazi ad una struttura fortemente accentratrice quale è l'atrio non permettono, se non in minima parte, l'adattamento al contesto e forse sono il motivo del silenzio su alcune parti strategiche della casa da parte di Vitruvio, come il tablino o le ali osservato da molti studiosi. Evidentemente, ogni elemento della composizione (=spazio della casa) ha posizione e forma peculiari, tale per cui non sarebbe possibile collocarlo in altro modo, e il complesso sistema proporzionale che la regola non fa che confermare l'interdipendenza tra le parti. Solo nelle case ad atrio eccentrico l'atrio-corte è spesso spostato contro la parete sud, cosicché gli ambienti affacciati su di essa siano ben illuminati e il lato dell'ingresso sia in ombra; ma non mancano quelle che presentano l'atrio sulla parete nord, lasciando in ombra ben due lati della casa, e devono recuperare un po' di luce attraverso un secondo atrio o una corte posti sul retro. Alcuni casi presentano il tablino ruotato a 90° rispetto all'ingresso, ma la regola vuole anche in queste abitazioni il tablino in asse alla porta. La *domus* matura è addirittura indifferente all'orientamento e alla posizione, riproducendo il tipo in modo sostanzialmente invariato, collocando l'ingresso sempre sulla strada principale e sul lato

corto: se il lotto è irregolare la casa lo riempie completamente, mantenendo le murature ortogonali al lato d'ingresso, l'atrio e i cubicoli ad impianto regolare e assorbendo tutte le irregolarità lungo i margini, quasi fosse una figura più grande che venisse ritagliata secondo nuovi margini; molta più libertà può invece essere presente nella parte posteriore col peristilio.

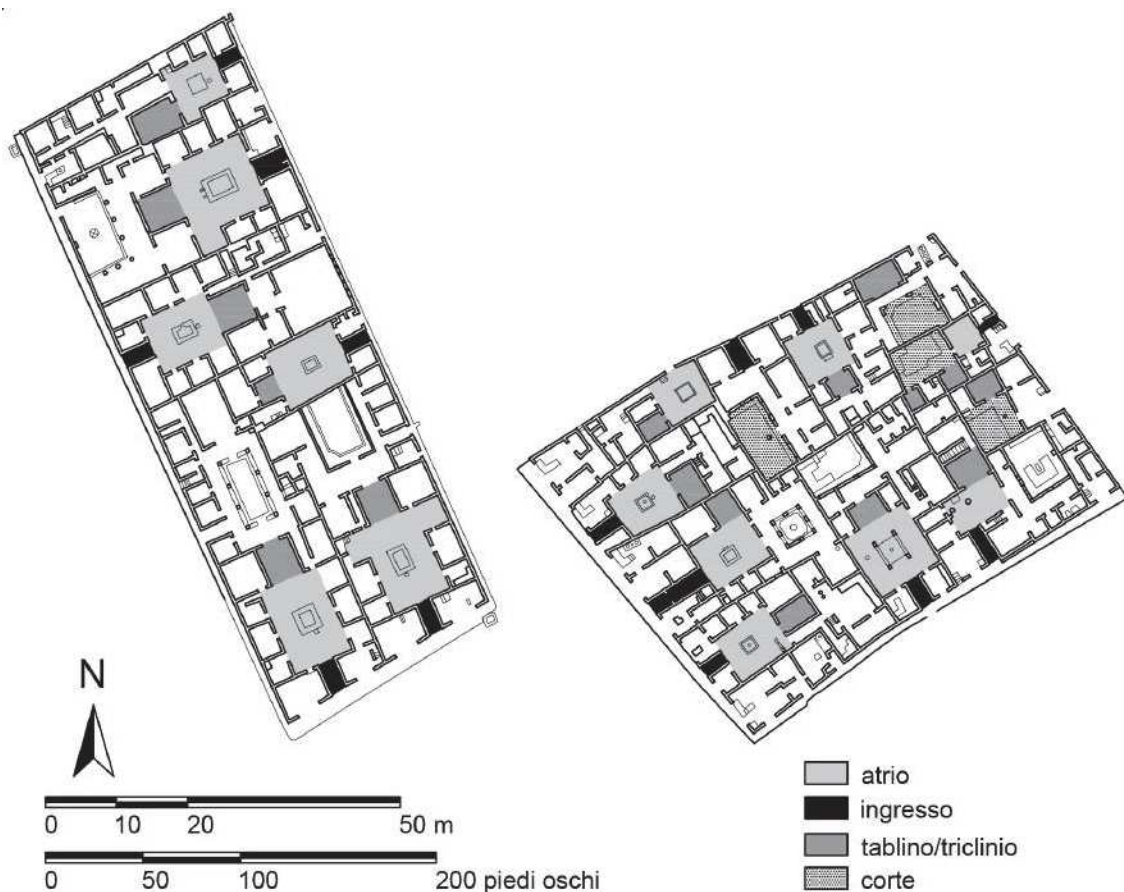


Figura 8.25: Sequenza degli spazi aperti indifferenti all'orientamento nella casa romana a Pompei: a) *insula* VI,13; b) *insula* I, 2

L'impalcatura geometrica e spaziale, rigida non tanto dal punto di vista formale — perché sappiamo quale sia la varietà delle abitazioni romane — quanto dal punto di vista della coordinazione dello spazio, si presta pertanto ad un criterio di lettura che cerchi l'impianto formale, geometrico e proporzionale, che avrebbe potuto essere stato usato all'epoca della prima costruzione. Si tratta di un procedimento diverso quindi rispetto alla sovrapposizione di una griglia modulare all'impianto planimetrico come tentato da Camporeale et al. (2008) in una casa di Volubilis e corrispondente piuttosto alle ricerche di Geertman (1984a).

Una progettazione geometrica di fondo è stata riconosciuta ormai in parecchie abitazioni di livello a Pompei, quali le case VI,14,43 (degli Scenziati), VI,10,11 (del Naviglio), VI,1,10

(del Chirurgo) studiate da F. Pesando (Bentz e Reusser 2010); dei Vetti (VI,15,1), di Sallustio (VI,2,4), di Obellius Firmius (IX,14,4), delle Nozze d'Argento (V, 2, i), dei Ceii (I,6,15) studiate invece da Geertman (1984a); infine le case di di Pomponio (VI, 10, 6), di Terenzio Eudossio (VI,13,6), del Chirurgo (VI,1,10), L. Celio Caldo (VIII,3,8), dei Capitelli Colorati (VII,4,31) per mano di Hallier (1989).

Altra prova della forza di questi schemi geometrici e concettuali all'interno del modo di abitare romano, per lo meno nella sua specificazione pompeiana, è la loro presenza in case assai diverse sia per dimensione, all'interno dello stesso (ricostruito) rango sociale, sia tra i diversi livelli.

Una possibile obiezione ad una applicazione onnicomprensiva di questa lettura risiede sicuramente nel fatto che le abitazioni appena nominate appartengono tutte alla categoria della casa canonica di alto livello, mentre sarebbe meno giustificabile una progettazione nelle case più semplici appartenenti a strati sociali più bassi. Tuttavia è possibile osservare che a) un esempio di letteratura è rappresentato dalla casa dei Ceii appartenetene proprio al gruppo di case "semplici", privi di ambienti sui lati anche se dotata di un impluvio tetrastilo; b) molti studiosi concordano nel riconoscere un elevato livello di decorazione in case anche di minima dimensione; c) i proprietari originali pur non potendo permettersi un intero o un mezzo *actus quadratus* di proprietà immobiliare in un centro urbano, potevano permettersi una "casa" intesa come la "casa tradizionale" e non di vivere nell'ammezzato della propria bottega e quindi potevano e dovevano avere i mezzi per comprendere e apprezzare il sistema in uso anche nelle case di livello più elevato.

In accordo con le costruzioni di Geertman (1984a), Jacobson (cit. in Wilson Jones 1989) ha dimostrato come in genere il punto di partenza della costruzione geometrica di un edificio sia un quadrato o un cerchio coincidente con un elemento significativo della pianta che è anche un numero intero di piedi. Dagli esempi riportati in letteratura e dall'esperienza sul campo si inferisce che questo numero intero fosse preferibilmente divisibile per 6 o per 12 (30', 60', 120') in modo da poter restituire più facilmente attraverso suddivisioni proporzionali sottomultipli interi.

Nel caso delle abitazioni, il nucleo della progettazione è quasi sempre l'atrio — ma se il lotto è grande si può partire dall'intero edificio — dal quale si ricavano per tripartizione, secondo il ritmo 1:1:1 — tripartizione regolare — o $1:\sqrt{2}:1$ — tripartizione dinamica — con una prassi usata di frequente, sia la larghezza del tablino e delle ali, che la loro profondità, allo stesso modo degli ambienti sul fronte (Geertman 1984a).

Per il dettaglio delle costruzioni geometriche, cfr. *infra* relativamente alle casette minime.

8.3 Analisi

La mappatura tipologica delle città archeologiche di Pompei e Ercolano avviene restituendo, sulla base dei rilievi a disposizione, gli andamenti delle proprietà, così come ricostruiti e con l'approssimazione consentita dalla scala. Ai poligoni così individuati vengono associati i tematismi grafici e le informazioni testuali necessarie a classificare e organizzare gli edifici. I dati risultanti, vista la natura ibrida, grafica e testuale, hanno trovato la più opportuna collocazione all'interno di un sistema GIS. Il GIS offre anche la possibilità di relazionare le informazioni raccolte con dati relativi ad altri ambiti, quali

ad esempio le *shake maps* fornite dall'INGV, per avviare studi di vulnerabilità e analisi di scenario estesi all'intero complesso archeologico¹⁵.

La formazione della mappa (Tav. 8.35) ha dovuto tenere conto dei seguenti fattori:

1. Ciascun edificio è individuato dalle murature d'ambito fino a metà delle stesse e per tutto lo spessore della facciata¹⁶;
2. Ogni edificio viene rappresentato tramite la larghezza della facciata individuato come il "fronte" dell'edificio, mentre la profondità del lotto ne è il "lato";
3. Le misure sono espresse in piedi oschi;
4. Dal computo delle case sono volutamente escluse quelle che sembrano essere botteghe singole, non inserite nel contesto di una abitazione più ampia: si ignora pertanto quello che rientrerebbe nel primo quartile di Wallace-Hadrill (1994);
5. Nel perimetro della casa sono comprese anche le botteghe limitrofe alle *fauces* in quanto concettualmente ricomprese nel disegno della pianta, anche se funzionalmente autonome dall'abitazione retrostante¹⁷;
6. Edifici con diversa funzione, commerciale o artigianale, ma caratterizzati dall'impianto tipico di un certo gruppo vengono annoverati nel computo di quel gruppo;
7. Sono possibili regolarizzazioni nel rilievo delle misure rispetto a quello che appare, in facciata o sul lato, come l'"impianto originale" dell'edificio;
8. Nella nomenclatura proposta si fa uso della parola "atrio" volendo con questo indicare non tanto la corrispondenza con lo schema canonico ideale o il livello di ricchezza della casa bensì la presenza di uno spazio centrale della casa — coperto o scoperto non importa — su cui convergono gli altri ambienti¹⁸;
9. Si trascura la presenza di piani superiori al primo, dato che interessa l'ingombro generale in pianta, e che non si dispongono di informazioni precise a riguardo¹⁹;
10. In caso di espansioni, anche di notevole entità — es. il peristilio — ad una casa preesistente, il tipo è quello di quest'ultima a meno che nell'espansione non sia stato alterato il tipo originale — e quindi ci sarebbe il passaggio di categoria — o l'aggiunta sia chiaramente riconoscibile come tale e trasformi la casa nel tipo ad atrio multiplo; in tal caso le misure sono prese con riferimento alla casa (o alle case) riconosciuta come "originale";
11. É possibile definire categorie anche più ristrette (sotto-tipi) con riferimento all'impianto planimetrico interno delle abitazioni.

¹⁵Le *shake maps* sono disponibili su [62]. Nelle successive elaborazioni statistiche si ringrazia il dott. D. Piatteletti.

¹⁶Ciò significa dal punto di vista cronologico, alla luce delle osservazioni di De Kind su Ercolano, che gli edifici siano tutti contemporanei. A questo livello di analisi non è possibile scendere più nel dettaglio.

¹⁷Questo rende diverso il conteggio rispetto agli studi di Wallace-Hadrill (1994) e impossibile il confronto. Wallace-Hadrill tratta infatti le *tabernae* come case a sé stanti, come effettivamente era per la maggior parte della popolazione urbana di quel tempo.

¹⁸A questo proposito infatti si confronti la posizione di A. Wallace-Hadrill in Dobbins e Foss (2007) con quanto sostenuto da Zaccaria Ruggiu (1995) relativamente alle case tipo Hoffmann, con atrio centrale privo di ambienti laterali.

¹⁹In effetti, si ammette implicitamente di trattare tutte le case come fossero senza copertura di ricostruzione, ad uno o due piani, anche se tendenzialmente ad uno.

Tabella 8.3: Numero di abitazioni per tipo e per *regio* a Pompei

regio	minime	eccentriche	canoniche	multiplo	no tipo	TOT
I	32	37	7	3	9	88
II	4	4	3	0	0	11
III	2	0	1	1	0	4
IV	0	0	0	0	0	0
V	8	9	7	2	8	34
VI	30	42	27	6	24	129
VII	19	27	29	2	11	88
VIII	11	12	16	1	8	48
IX	12	14	11	5	7	49
TOT	118	145	101	20	67	451

Sui 451 edifici a Pompei individuati come case a corte, in realtà solo 100 circa corrispondono al tipo ideale “vitruviano” anche se con diverse varianti, mentre ben 263 cioè quasi il 60 % corrisponde ai tipi di più basso livello, minimo a fronte stretto e eccentrico: quest’ultimo in particolare risulta il gruppo più numeroso con 145 casi sul totale.

Prima di procedere alla descrizione della vera e propria struttura geometrica dei tipi individuati, è necessario stabilire l’omogeneità dei gruppi e se si possono considerare effettivamente distinti. A questo proposito sono stati eseguiti due semplici test di statistica sulle misure, espresse in piedi oschi del fronte e del lato della casa fatta corrispondere ad un rettangolo in cui idealmente può essere inscritta. Il primo test eseguito è il cosiddetto Q-Q Plot che rappresenta graficamente i quantili di una distribuzione e confronta la distribuzione cumulata della variabile osservata con quella della normale. Se la distribuzione osservazionale corrisponde a punti della distribuzione congiunta lungo la diagonale del grafico, la variabile osservata si distribuisce normalmente. In particolare si nota come nelle distribuzione dei lati delle case esistano dei gruppi (corrispondenti agli allineamenti orizzontali in Fig. 8.26) che trovano spiegazione nel fatto che la profondità della casa coincide con la larghezza dell’isolato; al contrario la distribuzione del fronte è più “libera” e segue meno la normale.

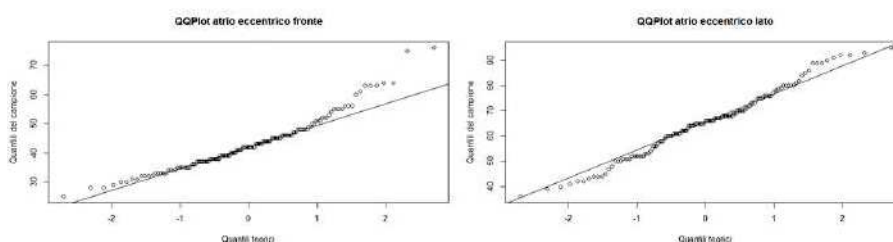


Figura 8.26: Test di verifica della normalità della distribuzione per le misure rilevate di fronte e lato delle case minime

La verifica di normalità serve per controllare una delle ipotesi del secondo test applicato, a carattere inferenziale, il cosiddetto *t* di Student. Questo test permette di stabilire se una determinata assunzione, supposta come vera, risulti compatibile con le caratteristiche

della distribuzione (Cicchitelli 2012). Qui viene utilizzato per valutare se, all'interno delle distribuzioni osservate, possono essere individuati valori rappresentativi "tipici" per un certo gruppo di case.

Ad una prima ipotesi, si sono proposte le seguenti misure (o intervalli di misure) per le varie classi: 30'×60' per le case minime; 40'÷50'× 60'÷70' per le case ad atrio eccentrico; 60'×80' per quelle canoniche. L'applicazione del test ha permesso di confermare, entro un certo margine, i valori stabili ad intuito, rispettivamente 32'×64', 42'-44'×64'-66', 56'×76', confermando la progressiva riduzione del rapporto formale tra i due lati al crescere del livello sociale della casa (Fig. 8.27, 8.28, 8.29).

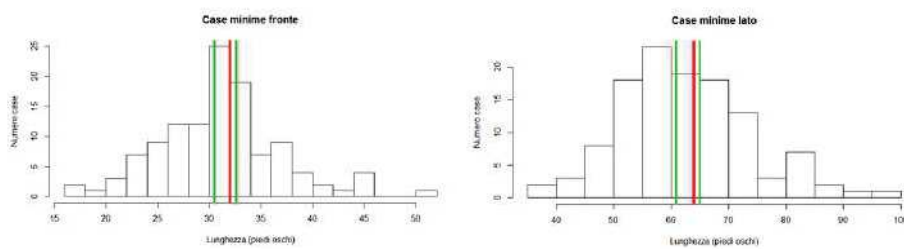


Figura 8.27: Test t per i valori di 32' per il fronte e 64' piedi per il lato delle case minime

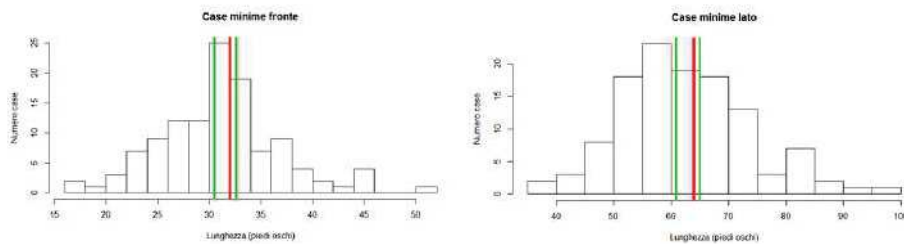


Figura 8.28: Test t per i valori di 44' per il fronte e 66' piedi per il lato delle case minime

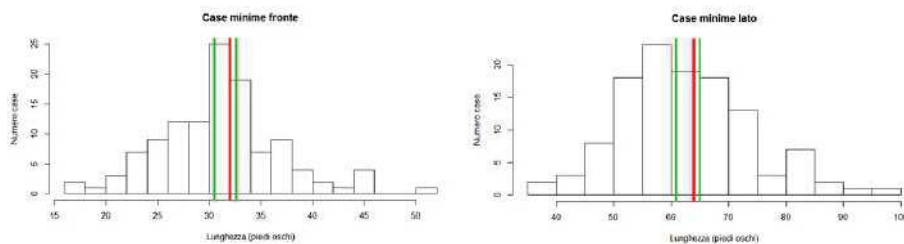


Figura 8.29: Test t per i valori di 32' per il fronte e 64' piedi per il lato delle case minime

Ulteriori approfondimenti saranno possibili sulla distribuzione degli ingombri territoriali dei tipi, in analogia con quanto effettuato da Wallace-Hadrill (1994) e soprattutto sulla distribuzione geometrica interna, utilizzando strumenti a carattere grafico-statistico per individuare la posizione delle murature interne.

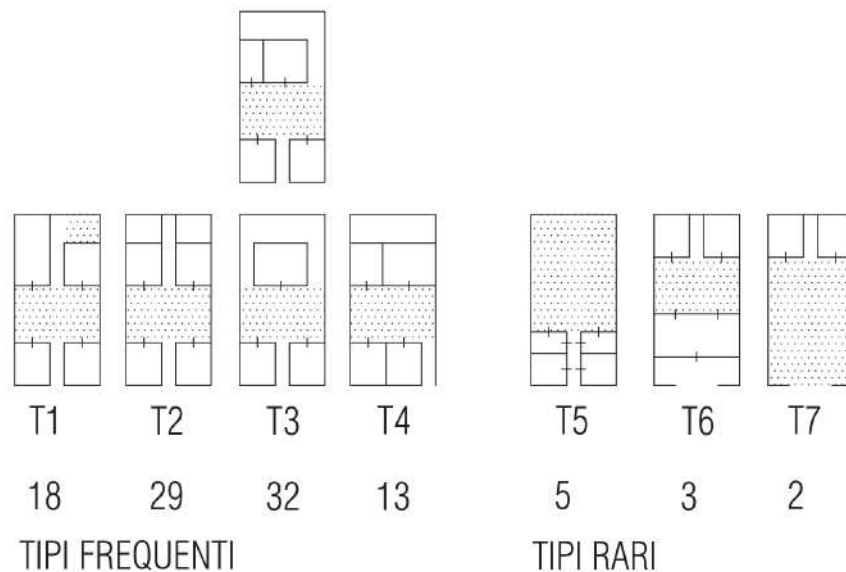


Figura 8.30: Schemi delle variazioni di impianto delle case a fronte stretto, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso avviene sempre dal lato in basso

Casa minima con atrio

Corrispondono a questa categoria le case caratterizzate da una pianta rettangolare allungata e fronte molto stretto, che rappresentano il 24,5% delle case individuate a Pompei²⁰. A grandi linee l'impianto di questa tipologia presenta uno o due ambienti sul fronte strada, tra i quali si imbroccano le *fauces* di accesso alla casa, a seguire l'atrio, con o senza vasca di raccolta dell'acqua, poi un altro o altri due ambienti coperti affacciati sull'atrio con il passaggio che conduce ad un eventuale cortile in fondo al lotto o ad una serie di stanze ricavate dal suo intasamento; l'atrio si estende per l'intera larghezza della casa, da una parete perimetrale all'altra. Spesso la proprietà è frazionata (*tabernizzazione*) perché i due ambienti posti sul lato dell'ingresso vengono chiusi sul lato interno e aperti invece verso la strada, trasformandoli in *tabernae* indipendenti; l'abitazione si riduce allora all'ingresso, all'atrio e ai due piccoli ambienti posti in fondo. Alcune di queste case presentano una raffinata decorazione pittorica, tanto da destare l'attenzione degli studiosi ed essersi meritate un nome.

Questa tipologia, presente un po' in tutta la città, si rinviene in particolare negli isolati delle *regiones* I, II e VI, che sembrano oggetto di una più conscia pianificazione degli spazi urbani, e spesso si presentano in gruppi di due-tre abitazioni affiancate per il lato maggiore. Mediamente il fronte è pari circa 30' o poco più, cioè dagli 8 ai 9 m. Gli altri valori possibili sono 20', 25', 35' e 40' per un totale di 5 variazioni possibili.

Più complessa è la definizione della profondità dell'abitazione poiché è molto più variabile;

²⁰Un altro studio — Evans — su un campione di 200 case, ha dimostrato che una percentuale analoga — circa 1/5 — risponde a questa stessa tipologia di case senza ambienti sulle pareti perimetrali dell'atrio; cfr. Gros 2001, p. 83.

mediando il valore della profondità per ciascuna dimensione della facciata dell'edificio si trovano valori compresi tra 75' e 95, vicini ai valori molto apprezzati in antico di 8 e 9 *decempedae* (Ioppolo 1991).

Un confronto, interno al gruppo, della successione di spazi aperti e scoperti dell'abitazione permette di individuare fino a sette sottotipi, alcuni rinvenibili con maggiore frequenza altri presenti solo in modo sporadico di cui al momento non è stata studiata la relazione con l'orientamento e la posizione nello spazio urbano (Fig. 8.30).

Uno studio più approfondito delle costruzioni geometriche consentite dal tipo e dai sottotipi (cfr. Tavv. 8.4, 8.4, 8.4) ha permesso di elaborare anche un vero e proprio abaco di soluzioni (Tavv. 8.4, 8.4). La distinzione tra i tre gruppi si basa sulla partenza della costruzione a partire dallo stesso quadrato di lato pari al fronte: 1) il ribaltamento della diagonale per ottenere il lato; 2) il raddoppio del quadrato di base o il ribaltamento di metà del quadrato sui due fronti per ottenere il lato della casa; 3) il doppio ribaltamento della diagonale sui due lati opposti del quadrato di base per ottenere il lato. Così i vari rami dell'albero tipologico corrispondono non tanto a genealogie bensì a esiti alternativi della costruzione geometrica. Le prime operazioni descrivono l'impianto di base e permettono di tracciare le murature parallele alla facciata, che delimitano la profondità degli ambienti e dell'"atrio" centrale, le ulteriori suddivisioni permettono di collocare le partizioni tra gli ambienti e definire la posizione dei passaggi.

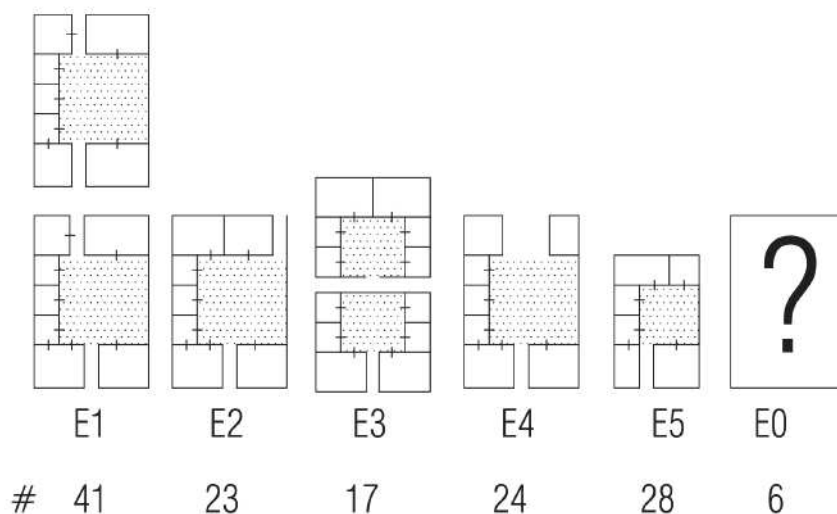


Figura 8.31: Schemi delle variazioni di impianto delle case a atrio eccentrico, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso avviene sempre dal lato posto in basso

Casa ad atrio eccentrico

È questa la tipologia più diffusa a Pompei con il 33% del totale di abitazioni, concentrate soprattutto nelle *regiones* I, dove rappresentano il 46% di tutte le case riconosciute, e VI. Il nome deriva dal fatto che gli ambienti della casa di dispongono su soli tre lati dell'atrio scoperto, mentre il quarto coincide col muro divisorio dall'altra unità; l'ingresso e il tablinò, che qui è presente a differenza del tipo precedente, sono in asse con l'atrio e quindi

eccentrici rispetto alla mezzeria del lotto. L'impianto di queste case è in genere abbastanza chiaro e regolare ed è poco sensibile ai fenomeni di tabernizzazione del fronte su strada, almeno nella *regio* VI, ma è frequente nella *regio* I, nelle strade che conducono alle porte della città, che hanno ovviamente maggiore attrattiva commerciale rispetto alle vie interne di una zona residenziale.

Le *domus* di questo tipo occupano tutta la profondità delle *insulae*, raccogliendosi ancora in gruppi, tuttavia la loro disposizione varia leggermente tra le due regioni: nella *regio* I le case più lunghe si dispongono nel senso della lunghezza dell'*insula* ma altre meno profonde giacciono con l'asse maggiore ortogonale a quello dell'*insula*, nella *regio* VI invece tutte le case sono disposte trasversalmente all'isolato. Minore regolarità caratterizza, come tradiscono le piante più distorte, gli isolati della regione VII del foro.

In questa tipologia, osservando le frequenze, si riconoscono ben 10 possibili dimensioni della facciata, anche se quelle di numerosità abbastanza elevata corrispondono a 30', 40', 45' e 50'; l'errore è abbastanza ampio e pari a circa 10'. Nella profondità diviene ancora meno riconoscibile un valore di riferimento, essendo variabile tra 90' e 115'. Statisticamente si trova che buone rappresentazioni delle dimensioni di pianta sono rispettivamente 45' e 65', cioè 12,38 m e 17,88 m, per una superficie di 306 m², vicino a quello trovato da altri autori e ritenuto confrontabile con le abitazioni di note città greche²¹.

In questo caso si riconoscono cinque sottotipi più un sesto gruppo con costruzione estremamente distorta o presenti singolarmente (Fig. 8.31). La principale variazione è riconoscibile dal rapporto tra atrio e ingresso, cioè se esistono tra i due le *fauces* (gruppi E1, E2, E4, E5) o se si entra direttamente nell'atrio (E3). Le sottovarianti sono relative alla modalità di collegamento tra la casa e il giardino sul retro, se cioè avviene in asse o fuori asse rispetto alla porta o attraverso il tablino. I gruppi E3 e E5 si distinguono per l'assenza di spazi aperti annessi alla casa oltre all'atrio e in particolare il gruppo E5 per le assai ridotte dimensioni.

Casa canonica con o senza peristilio

La casa ad atrio propriamente detta compare anch'essa nel 24% dei casi e principalmente nelle *regiones* VI, VII e VIII, mentre nella VII costituisce la quasi totalità degli edifici residenziali. Si tratta del tipo a maggior ingombro territoriale assieme al tipo successivo, tanto che spesso bastano solo una o due di queste per occupare quasi totalmente un'*insula*, come accade con la Casa di Pansa o del Fauno. La dimensione del fronte aumenta, passando a circa 60', a differenza di quella della profondità, la quale, nonostante casi eclatanti, si mantiene attorno ai 100', cosicché nel passaggio tra le tre tipologie il rapporto tra i lati scende da 3 a 2 a 1,67 ($\sqrt{3}$)²².

Il 74% di queste abitazioni presenta il classico atrio tuscanico, seguono l'atrio tetrastilo e il corinzio, attestato solo in un paio di case. L'elevato numero di ambienti piccoli e medi, oltre alle stanze di soggiorno tradisce la presenza di una servitù numerosa, anch'essa segno del prestigio del *dominus*. Il peristilio — anche se in alcuni case ve ne sono addirittura due,

²¹Wallace-Hadrill trova un'area di 290 m² cfr. Wallace-Hadrill (1994).

²²Si può nota una differenza di circa 15' tra il fronte "medio" di un tipo e quello del successivo, mentre la profondità è meno variabile perché più legata alle dimensioni dell'isolato che la casa tende ad occupare per tutta la sua larghezza. L'inferenza statistica conferma fronti di 60' — ma è anche accettabile 55' — e 110' per la profondità

uno dietro all'altro — è di solito posto, in contrasto con le indicazioni vitruviane, con il lato maggiore nel senso della profondità della casa, ma non mancano i casi in cui è stato ricavato un giardino da uno spazio compreso tra altri edifici preesistenti, risultando la pianta articolata a L o trapezoidale.

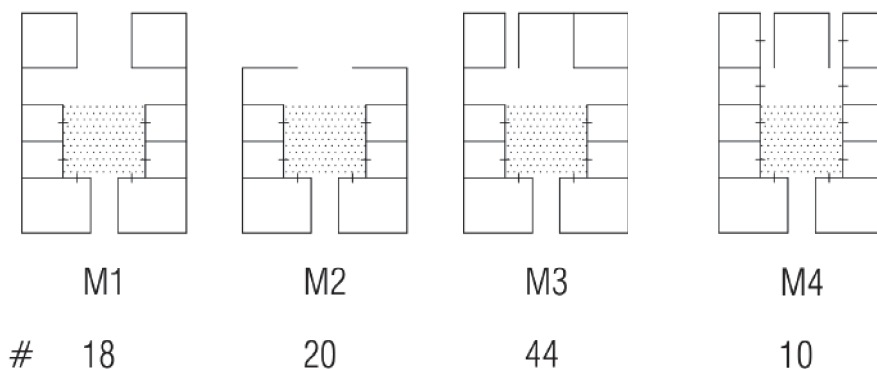


Figura 8.32: Schemi delle variazioni di impianto delle case a atrio canoniche, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il trattino la posizione delle porte, il numero la numerosità totale nell'abitato. L'accesso è sempre posto sul lato inferiore

Molte case presentano un fenomeno di avanzata tabernizzazione, con uno o più degli ambienti lungo il fronte trasformati in botteghe, così come molto diffuso è il fenomeno per il quale due case adiacenti tendono a compenetrarsi invece di mantenere il confine rettilineo: uno o due cubicoli possono essere ceduti al confinante, il quale, a sua volta, può cederne altri o parti di *hortus* sul retro; si creano così bordi frastagliati tra le case, ma l'impianto originale è facilmente individuabile negli allineamenti murari. Esiste in realtà una grande differenza dimensionale interna al gruppo, la cui superficie di pianta è compresa tra i 2900 m² della casa del Fauno — la quale però appartiene a rigore al gruppo con due atrii — e i 400 circa della casa del Chirurgo, soprattutto in conseguenza della dotazione di spazio aperto interno al lotto che spesso è pari o addirittura maggiore dell'ingombro della casa. Il lotto medio occupa una superficie tra i 300 e i 400 m², mentre la superficie costruita — sia misurandola direttamente che facendo riferimento a quella media — è circa la metà, 180 m², pari a 2400 piedi quadrati, in accordo con quel 60% di soazio coperto riconosciuto da Nappo (1994) per le case più piccole.

Anche la casa canonica presenta un discreto numero di variazioni dallo schema ideale (Fig. 8.32). La struttura secondo il modello tipico è comunque prevalente (gruppi M1 e M3) anche se si coglie una leggera differenza nel tablino che può essere totalmente aperto sul giardino retrostante o chiuso sul fondo e affiancato da uno stretto corridoio che collega atrio e peristilio. La variante principale è la casa mancante del tablino (M2) oppure quella mancante delle *alae* (M4), anche se si tratta quest'ultimo di un gruppo assai ridotto di casi.

Casa con atrii multipli

Rientrano in questa tipologia, che copre appena il 4% del totale, alcuni fra gli edifici più noti e studiati di Pompei, come la casa del Menandro, o quella del Fauno, estesi per un'intera insula e dotati di ragguardevoli apparati musivi e decorativi. Si tratta di

domus di grande dimensioni, caratterizzate dalla presenza più atri consecuentemente all'annessione di diverse abitazioni indipendenti preesistenti, di cui uno rimane quello pubblico di ricevimento, e l'altro può divenire di volta in volta il perno del quartiere familiare o degli ospiti o della servitù (Fig. 8.33). Nell'atrio pubblico il tablino modifica la propria funzione, assumendo quella di elegante soggiorno o di fastoso ingresso alla seconda parte della casa centrata attorno al peristilio. Anche le modalità con cui le case vengono annesse è schematizzabile in vari modi, dove lo spazio aperto in genere svolge spesso un ruolo importante nella funzione di collegamento tra le due unità preesistenti. È possibile che vengano unite due case affiancate, permettendo così di andare ad ottenere un grande lotto aperto retrostante che viene progressivamente unificato lungo i bordi; oppure due case con interposto un lotto libero o ancora tre case con al centro un lotto libero. L'aggregazione può anche essere seriale con la progressiva crescita in profondità della casa tramite peristili e cortili.

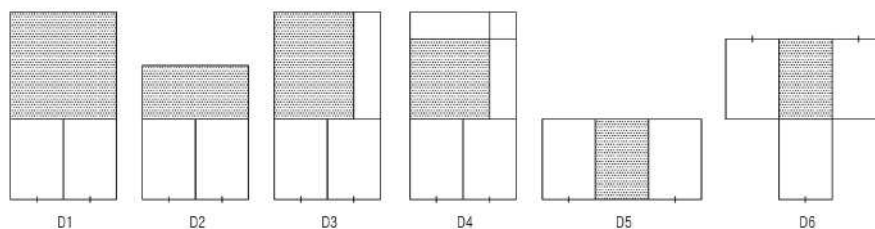


Figura 8.33: Schemi delle variazioni di impianto delle case a fronte stretto, il retino indica la posizione degli spazi scoperti, il numero la numerosità totale nell'abitato

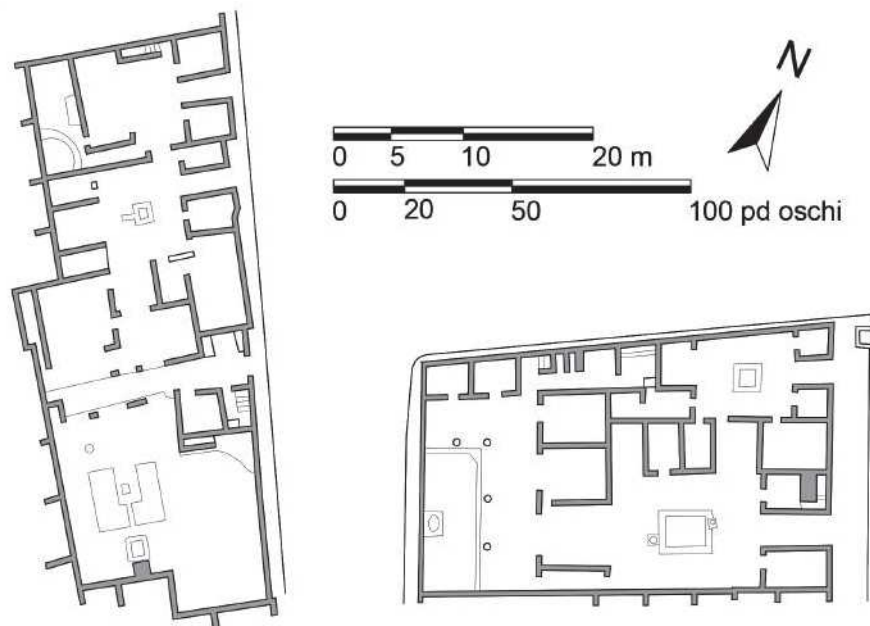


Figura 8.34: Esempi di case ottenute dall'accorpamento di più case preesistenti: a) Casa dell'Efebo I, 7, 11; b) Casa della Fontana Piccola VI, 8, 23

Il processo di annessione può interessare anche case dei tipi inferiori, sia affiancando due o più case strette (es. la Casa dell'Efebo) per formarne una più grande sia collocando un piccolo peristilio subito dopo il "tablino" delle casette precedenti (Fig. 8.34).

In questi particolari casi è possibile riconoscere la validità della teoria secondo la quale gli ampliamenti dell'abitazione avvengono tramite successivi raddoppi, cioè attraverso il progressivo accorpamento di unità funzionali e concettuali autonome: prima le *domus* preesistenti, poi l'aggiunta di un primo peristilio (terza unità) e più tardi del secondo (quarta unità) (Caniggia e Maffei 1979).

Casa non tipica

Un'ulteriore sessantina di *domus*, il 15%, non rientra in nessuna tipologia, presentando situazioni di atri intasati da cubicoli, piante molto irregolari — per via della posizione nel tessuto urbano o a causa dello smembramento della proprietà —, atri in posizione inconsueta — in angolo, molto eccentrici, addirittura autonomi dalla casa in cui introducono che le si pone a fianco — o non riconoscibili o ancora situazioni in cui non è immediato stabilire la posizione dell'ingresso e quindi verificare dove si colloca l'atrio rispetto a questo. In realtà, ad eccezione di poche situazioni, sarebbe possibile far rientrare queste case in una delle categorie precedenti potendo disporre di conoscenze più puntuali della mappa da noi redatta. Tra queste case rientrano anche quelle molto particolari costruite dopo la trasformazione in colonia romana della città, al di sopra delle mura urbana per poter godere della vista verso il mare.

8.4 Osservazioni finali

Il capitolo presenta ed utilizza gli strumenti impiegati dallo studio del tipo in architettura per ottenere una lettura dell'impianto urbano ed edilizio della città di Pompei orientata al riconoscimento degli aspetti formali e geometrici.

A differenza di quanto accade per l'edilizia domestica medievale, questi schemi interni della forma non nascono dalla spontaneità di un agire costruttivo pesantemente condizionato dalle circostanze ambientali ed economiche ma sembrano essere il frutto di una scelta cosciente. In altri termini, la *domus* sembra essere effettivamente il risultato di un progetto, o comunque di precisi contenuti simbolici che sono anche in grado di determinare la relazione tra gli spazi interni.

Il riconoscimento del "processo tipologico" che interessa l'abitazione deve pertanto relazionarsi anche con la presenza di elementi predeterminati, quale l'adozione di un preciso sistema metrologico e di un sistema proporzionale per la definizione dell'impianto planimetrico.

Tal sistema proporzionale corrisponde al criterio compositivo classico, fatto di costruzioni geometriche "a squadra e compasso", proporzioni rigorose e onnipresenti e dei concetti di ritmo, simmetria, e modularità.

Con riferimento al particolare caso di Pompei, la "struttura della forma" — per non dire il progetto — lavora sia a livello urbano, nella definizione degli isolati e della distribuzione interna dei lotti, sia a scala edilizia, determinando la permanenza di certe strutture spa-

ziali, (successione atrio-tablino) anche indifferentemente alla posizione rispetto al sole a differenza della casa greca.

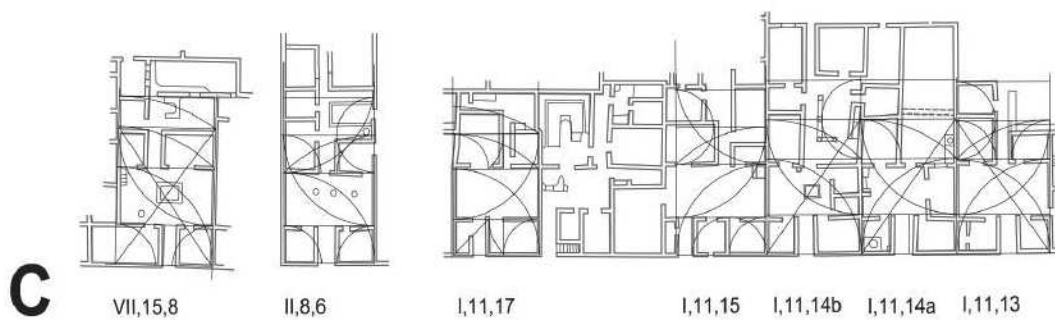
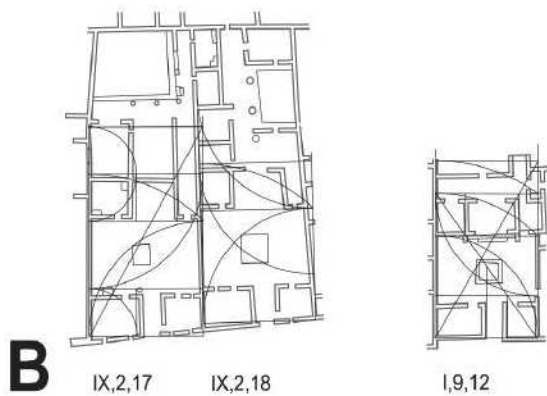
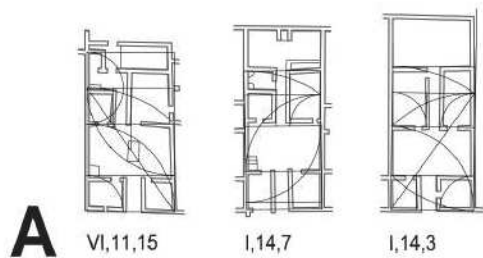
Lo studio storico del capitolo precedente e gli studi che già avevano proposto una scansione dell'edilizia abitativa vesuviana in tipi, hanno permesso di individuare cinque tipi edilizi, più una classe di edifici non riconoscibili. Il riconoscimento dei tipi entro il tessuto urbano di Pompei, al di là degli aspetti statistici, è servito a meglio inquadrare ciascuno tipo e a individuare sia gli "schemi" astratti dell'impianto planimetrico di ciascun gruppo sia, più importante e gravido di sviluppi, la struttura geometrico-proporzionale di fondo. Di ogni tipo si sono comunque individuate le misure rappresentative e quindi la modularità di fondo.

Il sistema metrologico e lo schema compositivo sono alla base delle successive fasi progettuali poiché permettono di definire rispettivamente il modulo da adottare nella progettazione del nuovo e un ampio numero di schemi, privi di "difetti" dovuti alle contingenze, ma effettivamente rinvenibili nella realtà. La duplice natura di questi modelli, astrattamente reali, risulta pertanto importante per la sperimentazione e la valutazione, sotto ogni aspetto — climatico, strutturale, compositivo — degli effetti della copertura, senza dover ricorrere ad un caso specifico e alle sue peculiarità.

Tavole



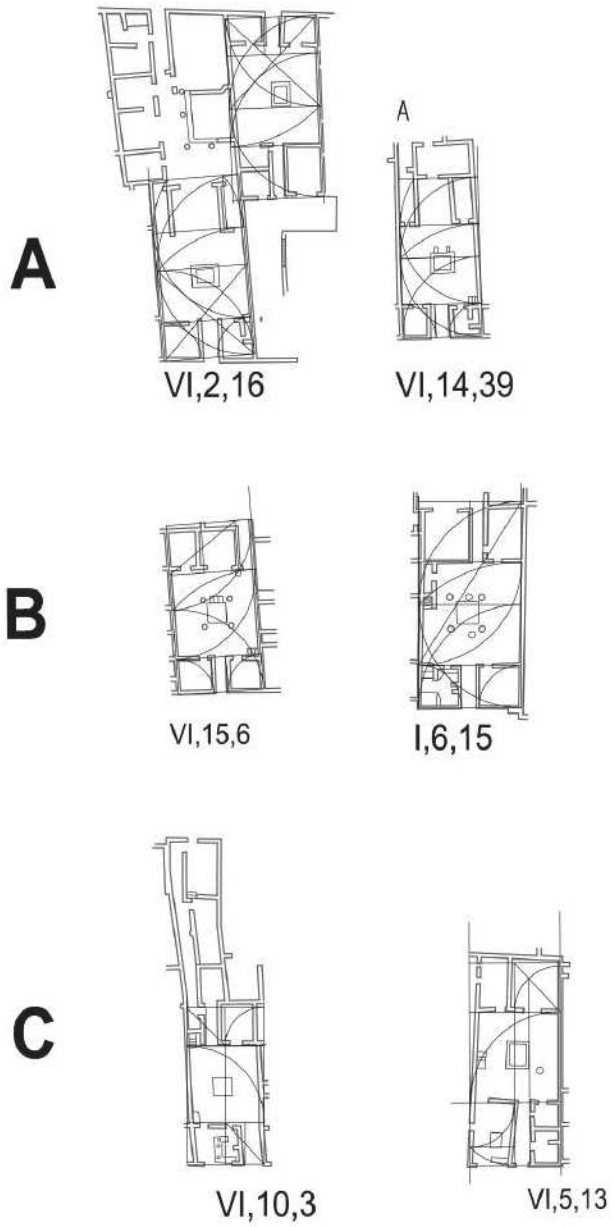
Figura 8.35: Mappatura dei tipi edilizi individuati a Pompei



1
VIII

COSTRUZIONI GEOMETRICHE SU ESEMPI DI CASE DI TIPO MINIMO AD ATRIO PRIMA VARIANTE

PROGETTO DI UNA COPERTURA ARCHEOLOGICA MODULARE

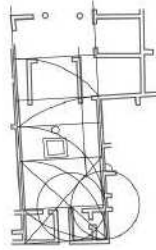


2
VIII

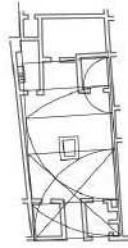
COSTRUZIONI GEOMETRICHE SU ESEMPI DI CASE DI TIPO MINIMO AD ATRIO SECONDA VARIANTE

PROGETTO DI UNA COPERTURA ARCHEOLOGICA MODULARE

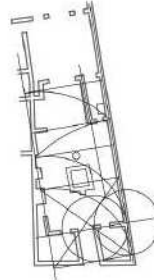
A



VI,14,40

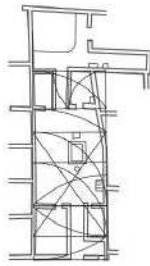


VI,13,10



I,7,1

B

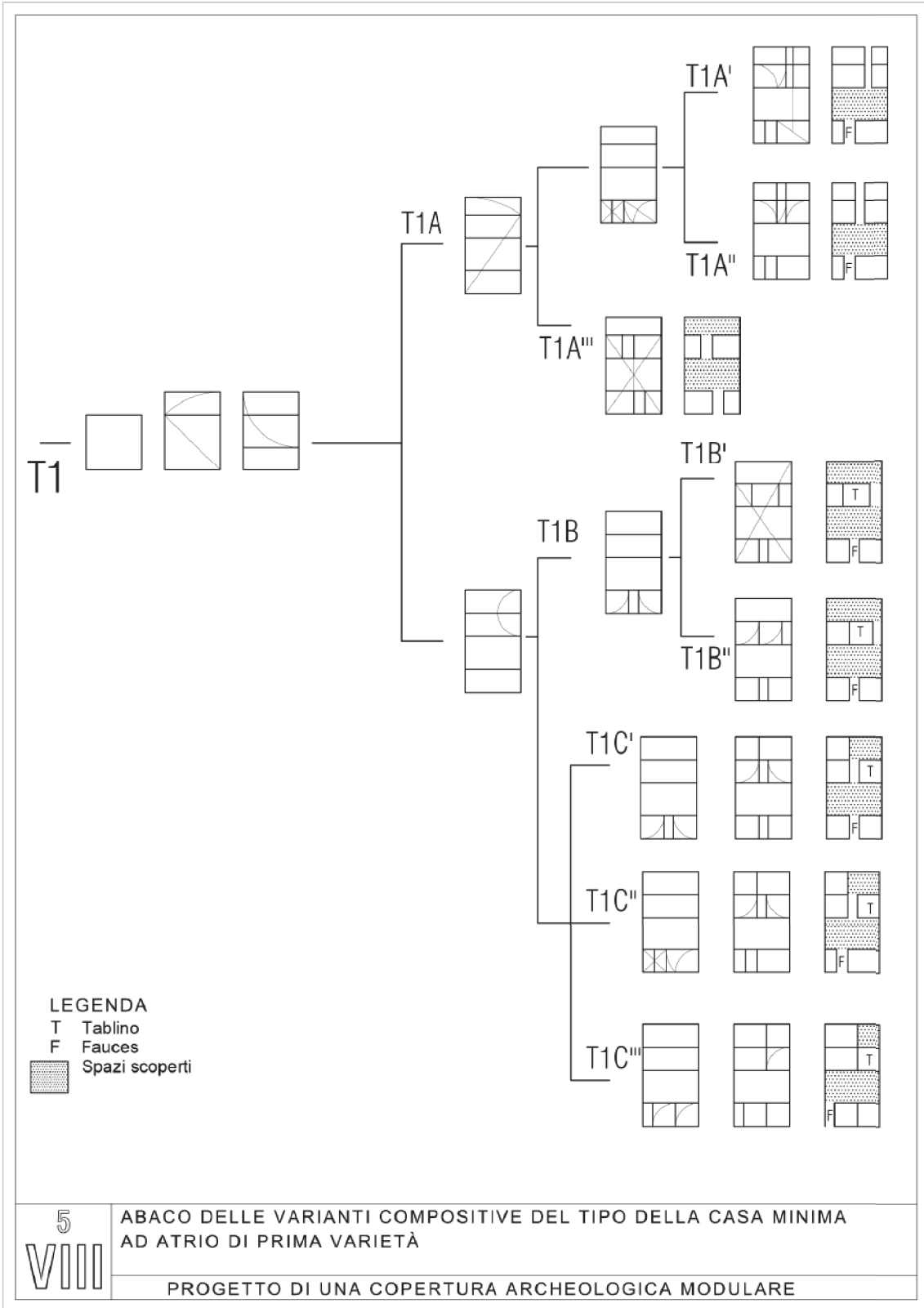


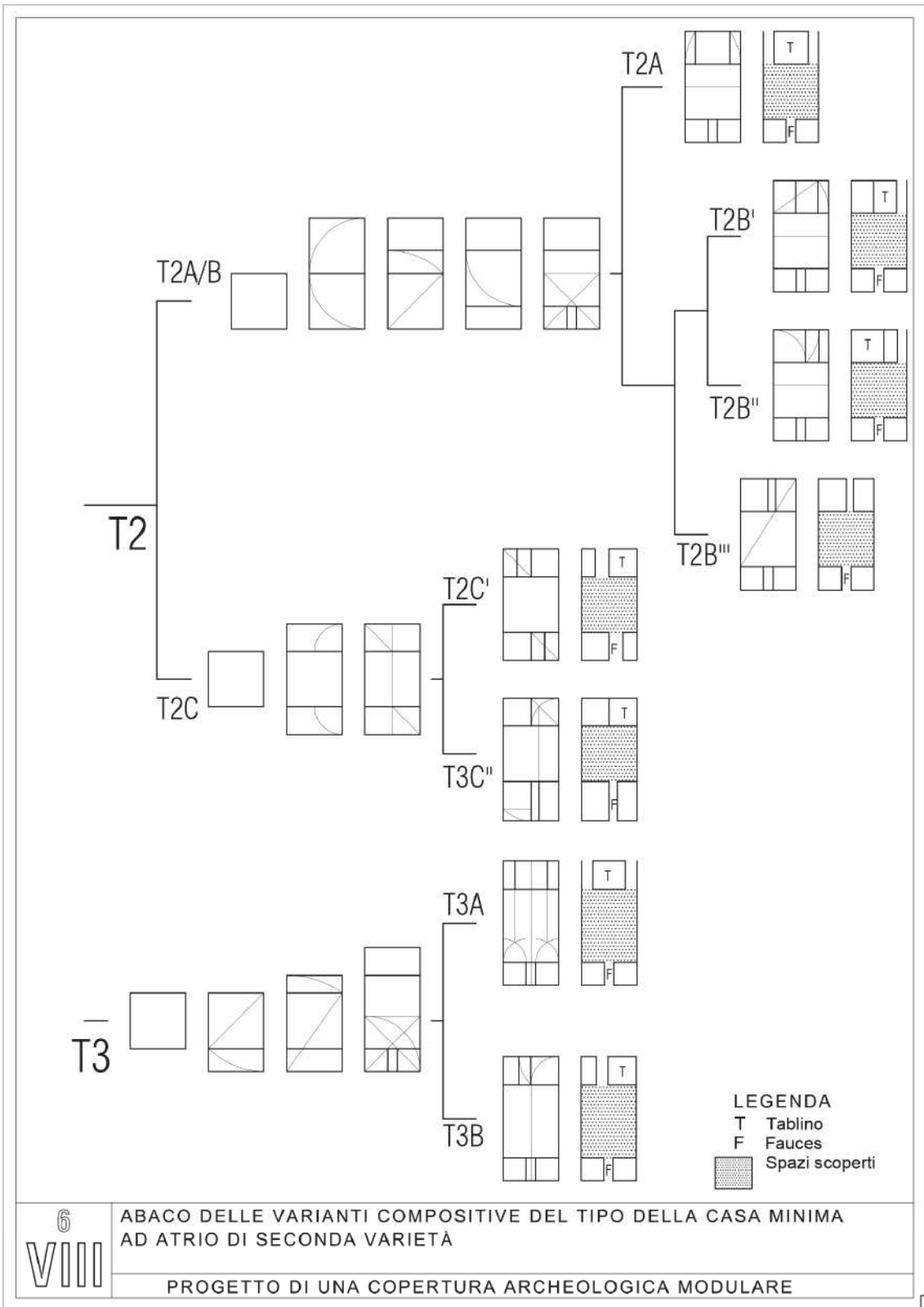
VII,15,4

³
VIII

COSTRUZIONI GEOMETRICHE SU ESEMPI DI CASE DI TIPO MINIMO AD ATRIO TERZA VARIANTE

PROGETTO DI UNA COPERTURA ARCHEOLOGICA MODULARE





Capitolo 9

Integrabilità strutturale. Applicabilità dei metodi speditivi di valutazione della vulnerabilità sismica al costruito archeologico

L'analisi del rischio nella specifica accezione del sito archeologico ha evidenziato come la letteratura consideri minore la sensibilità, per non dire l'indifferenza, delle strutture archeologiche rispetto alla sollecitazione sismica e sia attribuito maggior peso all'aspetto di conservazione e fruizione del bene. Tuttavia il criterio del "collaudo del tempo" come prima valutazione di sicurezza è valido per strutture fuori terra da lunghi periodi, mentre può essere di più difficile applicazione per strutture di recente escavazione; ad ogni modo ciò non comporta che il livello di sicurezza sia davvero compatibile con la fruizione.

Il capitolo si prefigge pertanto di valutare la vulnerabilità sismica del costruito archeologico pompeiano al fine di valutare sia opportuno che l'eventuale intervento di copertura possa dare un contributo strutturale ai lacerti murari durante le scosse. Una valutazione puntuale dell'intera città archeologica non può tuttavia avvenire secondo la pratica consueta di analisi sismica dell'edificio singolo che passa attraverso la fase di diagnosi mediante prove, modellazione supportata dalla prova e verifica secondo procedure più o meno complesse — analisi dinamiche o statiche, in campo lineare o non-lineare — a causa dell'onerosità della stessa procedura.

Una possibile soluzione viene dall'applicazione al contesto archeologico di quegli strumenti speditivi di valutazione della vulnerabilità sismica normalmente applicati al costruito storico italiano, facendo tesoro delle informazioni provenienti dallo studio tipologico elaborato al capitolo precedente.

9.1 Metodi di valutazione della vulnerabilità

Il livello di analisi della vulnerabilità dipende sostanzialmente dal grado di conoscenza raggiunto. Normalmente se ne distinguono tre:

Livello 0. Consiste nell'inventario degli edifici a scala larga (nazionale, regionale o di un agglomerato urbano di notevole estensione) di cui è nota quasi solo la classificazione tipologica e una datazione di massima; serve più che altro per indirizzare le strategie;

Livello 1. Prevede il rilievo speditivo di dati sostanziali degli edifici connessi comunque al comportamento — regolarità, materiali, dimensioni, trasformazioni, interazioni con edifici vicini, stato di manutenzione — per individuare le priorità all'interno di una tipologia;

Livello 2. Consiste in indagini e rilievi mirati che consentono la raccolta di informazioni approfondite sui singoli manufatti per lo studio di dettaglio del singolo edificio.

Esistono inoltre due tipologie di classificazione delle tecniche di analisi della vulnerabilità, a seconda che si guardi al tipo di risultato o all'organismo al quale viene assimilato l'edificio, che prevedono ulteriori sotto-distinzioni.

Rispetto al risultato si possono avere:

- Tecniche dirette: forniscono in un solo passo un risultato consistente in una effettiva previsione dei danni provocati dal sisma;
- Tecniche indirette: si articolano in due passi, ciascuno corrispondente ad un risultato. Nel primo si determina un opportuno indicatore di vulnerabilità, nel secondo si istituisce in funzione dell'indicatore una correlazione tra terremoto e danno atteso;
- Tecniche convenzionali: il risultato è un indicatore di vulnerabilità cui non viene associata una previsione di danno

Rispetto allo schema di modellazione dell'edificio invece si distinguono:

- Tecniche tipologiche: concepiscono l'edificio come membro indifferenziato di una classe tipologica, definita in funzione dei materiali, della tecnica costruttiva o di altri fattori. Richiedono dati di input semplici ma non consentono una grande precisione;
- Tecniche meccanicistiche: sostituiscono all'edificio un suo modello teorico; ai diversi livelli consentono di ottenere risultati validi per intere aree territoriali così come per singole costruzioni;
- Tecniche semeiotiche: la vulnerabilità può essere assimilata a sintomi di un edificio-organismo e viene valutata attraverso livelli di singoli fattori. Permettono di raccogliere e sintetizzare grandi quantità di dati sull'edificio e implicano comunque un giudizio soggettivo esperto in grado di stabilire una relazione tra le prestazioni stimate e i danni sismici attesi.

Tra gli approcci meccanici sono state definite alcune metodologie basate sull'analisi dei macroelementi più facilmente suscettibili di attivazione dei corrispondenti meccanismi in un edificio o gruppo di edifici. I metodi in parola richiedono dati di input facilmente reperibili — geometrie, parametri macroscopici dei materiali —, non comportano eccessivi oneri computazionali e consentono una trattazione adeguata dei problemi statistici e di modellazione che altri metodi risolvono solo in apparenza. Tra queste metodologie si ricorda in particolare *Vulnus* (Bernardini et al. 1990). *Vulnus* consente valutazioni di vulnerabilità globale di edifici in muratura sufficientemente regolari e di altezza limitata,

isolati o in aggregato, considerando i livelli di attivazione di alcuni meccanismi locali di collasso nel piano e fuori piano e formulando un giudizio qualitativo di vulnerabilità.

Il metodo correntemente adottato per la stima di vulnerabilità del costruito esistente è il calcolo dell'indice di sicurezza I_{SV} e del fattore α_s relativi al rapporto tra tempo di ritorno e accelerazione di collasso di capacità allo stato limite e i corrispondenti valori previsti dalla normativa:

$$I_s = \frac{T_{Rc,SL}}{T_{Rd,SL}}$$

$$\alpha_s = \frac{a_{gc,SL}}{a_{gd,SL}}$$

Tuttavia la valutazione dei parametri esprimenti il collasso dell'edificio storico richiede necessariamente un modello di calcolo e l'esecuzione almeno di una analisi statica non-lineare.

Esistono anche dei metodi speditivi, che non richiedono un modello di calcolo o abbisognano solo di un modello assai semplificato. Di questi si parlerà nei prossimi paragrafi.

9.2 Metodo del dominio di rottura

Il metodo è stato proposto dal gruppo di ricerca guidato da S. Podestà dell'Università di Genova e ha trovato applicazione proprio in alcuni edifici di Pompei (Cecchi e Gasparoli 2010).

Si parte dal presupposto che le strutture murarie rinvenute nel corso di uno scavo archeologico si presentino come elementi isolati, al più connessi localmente agli angoli, poiché sono scomparsi gli orizzontamenti e le coperture dai quali dipende in modo prevalente la possibilità di esplicitare il comportamento scatolare. Nel rudere archeologico si può pertanto affermare che il comportamento per parti sia esasperato e che quindi la risposta avvenga sostanzialmente per ribaltamento semplice di solidi murari isolati; non si commettono probabilmente grossi errori trascurando del tutto gli ammorsamenti tra pareti ortogonali. L'obiettivo dell'analisi è individuare la vulnerabilità intesa come le situazioni più suscettibili di danno, destinando ad un maggiore approfondimento il comportamento strutturale degli elementi individuati come più fragili.

Trascurando i fenomeni di oscillazione attorno alla base degli elementi, è possibile definire sorta di domini di sicurezza individuati come valori del rapporto b/h al di sotto o al di sopra dei quali si verifica il ribaltamento rigido. Per una parete prismatica regolare in condizioni di semplice appoggio con un eventuale carico P posizionato a metà parete in asse con il peso proprio W il cui rapporto valga p , si trova:

$$\alpha_o = \frac{1 + p \frac{B}{h}}{1 + 2p}$$

Da normativa l'accelerazione di capacità vale:

$$a_o = \frac{\alpha_o g}{e^* FC} = \frac{1 + p \frac{B}{h}}{1 + 2p} \frac{g}{e^* FC}$$

La frazione di massa partecipante e^* vale:

$$e^* = \frac{1 + 4p + 4p^2}{1 + 5p + 4p^2}$$

eguagliando l'accelerazione di capacità con la domanda sismica è possibile esprimere i valori limite di b/H rispetto alla pericolosità per il quali la verifica non è soddisfatta:

$$\frac{b}{H_{lim,SLD}} = \frac{1 + 2p}{1 + p} \frac{a_g Se^* FC}{g}$$

$$\frac{b}{H_{lim,SLV}} = \frac{1 + 2p}{1 + p} \frac{a_g Se^* FC}{gq}$$

Si tratta ovviamente di una semplificazione, anche notevole, ma non priva di riscontri fisici in prima approssimazione.

Nelle formule di normativa, se si esprime la forma del modo di vibrare ψ come z/H è possibile ricavare la quota rispetto alla quale il cinematismo in quota non si distingue da quello poggiato a terra:

$$z^* = \frac{H}{E_o \gamma - 1}$$

Una volta definita l'altezza limite di attivazione è possibile tabellare l'altezza h della sola porzione interessata dal cinematismo rispetto allo spessore B del lacerto: solo i meccanismi posizionati al di sotto di z_{lim} si trovano in condizioni di sicurezza sismica, gli altri dovranno essere indagati in modo più specifico.

Nel caso in cui il meccanismo di ribaltamento si verifichi in quota e non in appoggio a terra, e si verifichi quindi amplificazione sismica, si ricerca il parametro β_{lim}^* (funzione di z e h , $\beta_{lim}^* = hz_{lim} / (z_{lim} + h)$) a B fissato che determina il passaggio da una situazione di sicurezza a una di non sicurezza. Fissata l'altezza del blocco h , il meccanismo è sicuro se $z < z_{lim}$.

L'applicazione del metodo ad alcune case di Pompei (Trebio Valente e della Fontana Piccola) ha riscontrati bassi livelli di sicurezza sia per quanto riguarda la risposta globale dei setti nel piano, sia per i più pericolosi meccanismi di ribaltamento semplice fuori piano, anche per i livelli di accelerazione previsti per lo stato limite di danno.

9.3 Compilazione della scheda GNDT di una casa minima

La scheda *GNDT di II livello-Muratura* (Benedetti e Petrini 1984) è uno strumento spesso impiegato per studi di vulnerabilità a scala urbana poiché non richiede l'implementazione di modelli ma la sola acquisizione del rilievo geometrico delle unità allo studio, con contestuale ispezione visiva accurata. La metodologia di valutazione, del tipo semiotico basato sul "giudizio esperto", produce un punteggio assoluto determinato come somma pesata di giudizi di 11 parametri individuati come significativi per il comportamento dell'edificio (Fig. 9.14)¹. I giudizi sono variabili da A (classe migliore) a D (classe peggiore) mentre i pesi sono definiti a priori. È anche prevista la possibilità di valutare la «qualità

¹Il manuale e la scheda sono disponibili alla pagina [63]

dell'informazione», sarebbe a dire il grado effettivo di conoscenza raggiunta per quel parametro, ma questo secondo fattore non rientra nel computo finale. Il punteggio viene di solito trasformato per comodità in un indice percentuale (indice di vulnerabilità, Iv). La procedura originale è stata aggiornata una prima volta e in modo significativo dal gruppo di ricerca di Ferrini et al. (2004), che ha rivisto le modalità di compilazione della scheda, dal punto di vista procedurale ampliando gli esempi e variando l'assegnazione dei punteggi e alcuni pesi. Ulteriori recenti aggiornamenti sono relativi alla possibilità di esprimere la vulnerabilità derivante dall'interazione tra fabbricati contigui negli aggregati edilizi, tuttavia si ritiene che tali innovazioni non siano consistenti con le indicazioni provenienti dalla scala macrosismica europea, secondo la quale il danno è determinato dalla sola interazione di origine sismica tra terreno ed edifici e non tra edifici (Grunthäl 1998).

La valutazione qui eseguita è relativa ad una casa minima ad atrio, secondo le caratteristiche planimetriche individuate in precedenza (Par. 8.2.3) e informazioni sulla qualità e la consistenza della compagine muraria dedotti da letteratura o da un'osservazione sommaria a carattere tipologico. Ulteriori approfondimenti sul posto permetteranno di rendere più precisa la qualificazione di tali aspetti. Va inoltre tenuto conto che la scheda è pensata per l'edilizia storica italiana, medievale e moderna.

9.3.1 Tipo e organizzazione del sistema resistente (1)

Il parametro esprime il grado di funzionamento scatolare dell'edificio attraverso l'analisi dell'efficacia del collegamento alle intersezioni murarie (ammorsamenti) senza considerare l'effettiva qualità muraria.

La reale valutazione di questo parametro, così come del successivo presupporrebbe una conoscenza in realtà molto puntuale degli edifici, dei quali molti non sono accessibili all'interno. Si cerca pertanto di compensare con la ricchissima documentazione fotografica tratta dal sito Pompeiiinpictures.org [17]. Alle incertezze che di per sé caratterizzano la definizione di questo parametro, si somma il fatto di non poter essere mai del tutto sicuri se una determinata muratura fa parte della compagine muraria originale antica dell'edificio o se è il frutto di una delle tante manomissioni e ricostruzioni messe in opera vuoi per ragioni statiche vuoi per reintegrazione del bene archeologico. Recenti lavori di ricerca nell'ambito del progetto ANR-RECAP 2015-19 hanno cercato di colmare questo vuoto. È universalmente nota la buona qualità della muratura romana soprattutto per effetto di una malta a base pozzolanica particolarmente tenace, in grado di sviluppare una buona adesione proprio con gli aggregati vulcanici (Jackson et al. 2009, 2014). Nei dissesti visibili nelle foto è possibile notare che le pareti sviluppano spesso un comportamento monolitico a dispetto del presentare paramenti multipli. Le cornici delle aperture principali nelle pareti (porte e affacci di botteghe) sono inquadrare da grandi blocchi lavorati di calcare del Sarno — che in realtà è un travertino — oppure da un'opera vittata mista con blocchetti di questo calcare o tufo alternati a due corsi di mattoni. Le parti in opera laterizia sono in genere attribuite a interventi di restauro antichi, conseguenti al terremoto del 62 d.C. (Ruggieri 2017).



Figura 9.1: Evidenze del danno sismico nelle *domus* delle Terme del Sarno. La buona qualità dell'ammorsamento tra muri è testimoniato dalla lesione ad andamento diagonale nella parete invece di sub-verticale presso l'innesto tra pareti ortogonali. Si nota inoltre la presenza delle catene angolari nell'opera reticolata e la prosecuzione nell'angolata delle assise di mattoni dell'opera vittata mista

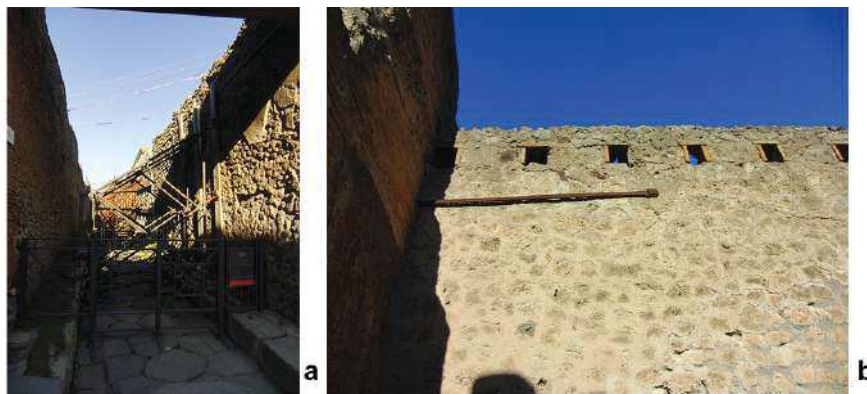


Figura 9.2: Presidi antisismici a Pompei: a) puntellamenti risalenti al terremoto dell'80; b) catena ancorata alla muratura tramite un perno passante

È evidente la preoccupazione di immorsare adeguatamente questi elementi di testata alle murature tramite la disposizione sporgente alternata tanto dei blocchi quanto dei mattoni all'interno dei campi di muratura che sono realizzati per lo più con opera incerta o quasi reticolata in piccoli blocchi di tufo o calcare (Fig. 9.1). Laddove gli spessi intonaci antichi sono caduti, si rinvengono le tipiche lesioni ad andamento verticale agli angoli che denunciano l'appoggio di una muratura su un'altra. Tuttavia sembra di capire che tale disposizione sia tipica delle murature interne, mentre in quelle perimetrali e nelle facciate si evidenzia sempre una certa cura per la fattura dei cantonali. L'uso di catene antiche non può essere facilmente identificato nelle attuali tracce materiali: è attestato con sicurezza negli edifici pubblici ma mancano studi specifici per quanto riguarda l'edilizia residenziale. Ruggieri (2017) osserva che il collegamento tra murature trasversali perimetrali è affidato principalmente all'ingranamento garantito dai grossi blocchi in travertino o dai mattoni.

L'uso di catene moderne è sporadico e sembra essere sia correttivo che preventivo ma il dettaglio costruttivo lascia ampi dubbi sulla reale efficacia dell'intervento. Le strutture orizzontali erano in legno, in genere ad orditura semplice e a passo fitto.

Riassumendo, si è in presenza di edifici con solai in legno, muratura compatta con buoni ammorsamenti angolari, priva di cordoli ma forse con qualche catena. Ai fini della valutazione GNDT, la classe risultante è la C per edifici che in origine dovevano avere catene diffuse e D per edifici privi di catene e, in generale, nello stato attuale. Ad una classe analoga si arriva anche nell'ipotesi della copertura di ricostruzione in cemento armato (Ferrini et al. 2003). Il livello di conoscenza è Medio-basso.

9.3.2 Qualità del sistema resistente (2)

Il parametro è teso ad esprimere un giudizio sulla qualità muraria, basandosi sulle caratteristiche dei materiali (malta e pietre) impiegati, apparecchiatura muraria, connessioni. Come già osservato nella valutazione del parametro precedente, gli elementi resistenti sono rappresentati da laterizi cotti, blocchetti di tufo o calcare squadri, pietre irregolari di calcare, tufo o roccia lavica, quest'ultima riconoscibile per il colore nero violaceo (Dessales 2011, 2015). I recenti ritrovamenti archeologici (Dobbins e Foss 2007; Guzzo 2011) hanno proposto una cronologia per le diverse tecniche costruttive. Nelle fasi più antiche (V sec. a.C.), preromane e sannitiche, si evidenzia l'impiego della pietra lavica (cruma, tufo "pappamonte") e del cd. calcare del Sarno. L'inadeguatezza costruttiva di quest'ultimo, a causa della notevole porosità, avrebbe motivato il passaggio, attorno al I sec. a.C., al tufo giallo di Nocera, più compatto ma facilmente lavorabile mentre solo con la piena romanizzazione inizia a diffondersi il mattone, che sarà diffusamente impiegato, assieme al materiale di recupero, nella ricostruzione successiva al terremoto del 62 d.C. inoltre si riscontra una distribuzione abbastanza razionale dei materiali costruttivi lungo l'altezza dell'edificio (Dessales 2012). I quadri fessurativi e di degrado delle murature evidenziano tutt'oggi notevole capacità coesiva della malta, sicuro effetto dell'aggiunta di componenti pozzolaniche; si ritiene inoltre che l'adozione di questo tipo di malte possa esser avvenuta presto, sin dalle fasi più antiche (300-250 a.C.).

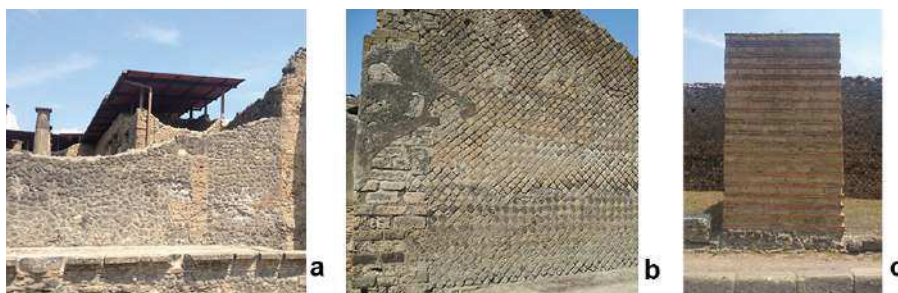


Figura 9.3: Esempi delle più diffuse murature di Pompei: a) opera incerta; b) opera reticolata; c) opera vittata mista

La valutazione della scheda GNDT si fonda su una qualificazione della malta — compatta e in buone condizioni o scadente e pulverulenta — e della tessitura muraria per formulare la valutazione del parametro. La difficoltà prevalente sta nell'assegnare una categoria per

la muratura reticolata, che è una categoria sostanzialmente assente nel campionamento murario odierno, basato su tipi medievali e moderni. Sicuramente nella reticolata, così come nell'opera incerta, la dimensione ridotta delle pietre esclude la presenza di diatoni anche se forse la qualità della malta può assicurare la compattezza della parete. Rispetto alle classificazioni proposte dalla scheda GNDT è possibile compilare Tab. 9.1, rimandando ad una più precisa valutazione della qualità muraria mediante scheda ulteriori considerazioni (Ferrini et al. 2003).

Tabella 9.1: Corrispondenza tra tipo di muratura in uso a Pompei e classe GNDT

Descrizione della tessitura	Giudizio GNDT II livello
muratura listata con malta buona	B/C
muratura di tufo tessitura irregolare e malta buona	C
muratura in blocchi di tufo/calcare tenero ad un paramento (?) e malta buona	B
muratura a sacco senza diatoni ben intessuta, con nucleo compatto	D da tabella ma in ottime condizioni anche C

Tenuto conto che per lo più lo stato di manutenzione è mediocre e che le murature sono esposte direttamente agli atmosferici, il giudizio più probabile è C.

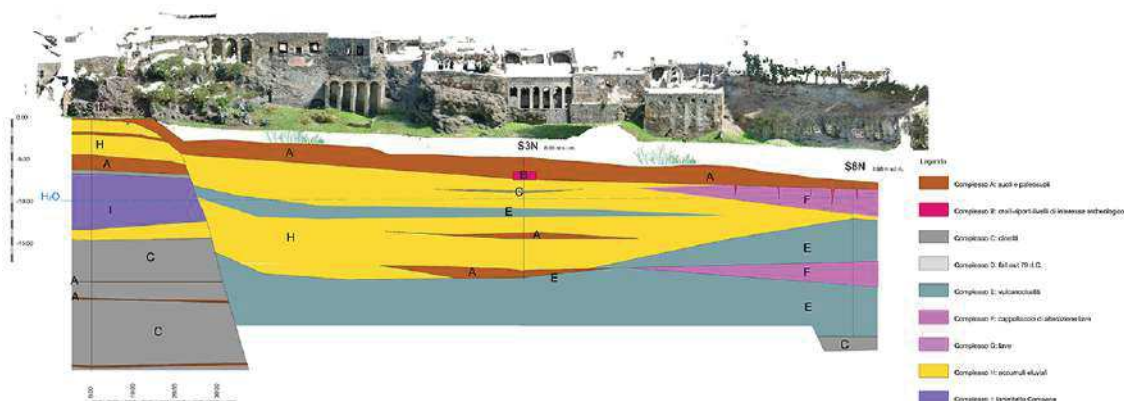


Figura 9.4: Sezione geologica corrispondente al fronte meridionale della regio VIII di Pompei (da Nuzzo 2015)

Resistenza convenzionale (3)

Il calcolo della resistenza convenzionale si basa sulla capacità dell'edificio di comportarsi come un sistema di mensole rigidamente incastrate al suolo e nei solai: ciò presuppone che questi possano essere considerati infinitamente rigidi. Poiché la casa romana, coi suoi solai in legno, non è in grado di sviluppare questo comportamento e anche la presenza di solai e coperture rigide in calcestruzzo armato su murature scadenti è ritenuta un aggravamento della vulnerabilità, la classe con buona approssimazione può essere considerata la D. Eseguendo una valutazione più puntuale, relativa all'edificio in seguito studiato mediante il programma Vulnus (Bernardini et al. 2010) (cfr. par 9.4), utilizzando solai leggeri (peso

200 t/m²), muratura in pietra listata con resistenza al taglio pari a 2 t/m² e peso proprio pari a 2,1 t/m³ secondo le indicazioni di Ferrini et al. (2003), si conferma il giudizio D. La qualità dell'informazione può essere ritenuta Medio alta date le circostanze.



Figura 9.5: Esempi di fondazioni a Pompei: a) in blocchi di peristilio nella casa di Arianna; b) in conglomerato in cavo libero nella casa VII,2,30 (da Pedroni 2011)

Posizione edificio e fondazioni (4)

Nel 2014 sono state condotte nelle aree non edificate delle regioni I, IV e V di Pompei prove geotecniche quali MASW e SPT utili a determinare le caratteristiche meccaniche e sismiche del terreno (Liberatore 2015). In particolare le prove MASW evidenziano che, dedotto lo strato superficiale di terreno vegetale connesso anche ai depositi dell'eruzione del 79 d.C., la velocità delle onde di taglio varia da circa 200 sino a 600-800 m/s. I valori più bassi sono associati a terreni piroclastici di medio addensamenti, quelli più alti al banco di lava, più o meno fratturato, posto in profondità (Fig. 9.4).

Il promontorio su cui sorge Pompei risulta digradante da nord verso sud (cfr. Fig. 8.11) e in alcuni tratti anche quasi scosceso. Nei rilievi eseguiti da (Holappa e Viitanen 2011) le curve di livello presentano una distanza di 50 cm: tenuto conto di questo e di isolati lunghi circa 138 m (500') nella *regio* VI, 66 m (240') nella IX, 88 m (320') nella I e e nella II, le corrispondenti pendenze medie risultano del 3,2%, 7,5% e 4,5%, comunque inferiori al 10%. Su queste pendenze inoltre il terreno può essere ritenuto non spingente.

Dai risultati delle prove geotecniche e da scavi recenti effettuati per mettere a nudo le fasi più antiche della città si può affermare che le fondazioni, in blocchi di tufo e calcare o in getto di calcestruzzo entro cavo libero, non poggiano sulla roccia sottostante ma direttamente nel terreno (Fig. 9.5). In generale si può ritenere che si impostino tutte allo stesso livello e anche nelle case più lunghe la differenza massima si attesta attorno a 1 m (Holappa e Viitanen 2011). In base a tali caratteristiche il giudizio tipico è B, localmente per case su tratti di terreno molto irregolari, può scendere anche in classe C o addirittura

alla D per gli edifici costruiti lungo le mura, col beneficio tuttavia di poter separare la *domus* in più unità strutturali. La qualità dell'informazione è Medio-Bassa.



Figura 9.6: Esempi di coperture impiegate a Pompei: a) solaio SAP in breccia sulle murature archeologiche in condizioni di forte degrado (VI,11,9); b) coperture leggere su sostegni metallici indipendenti dalle murature (VII,1,40); c) copertura in legno di recente costruzione con manto sottotegola in fascine di legno e in appoggio sulla muratura (VI,9,2) (da [17])

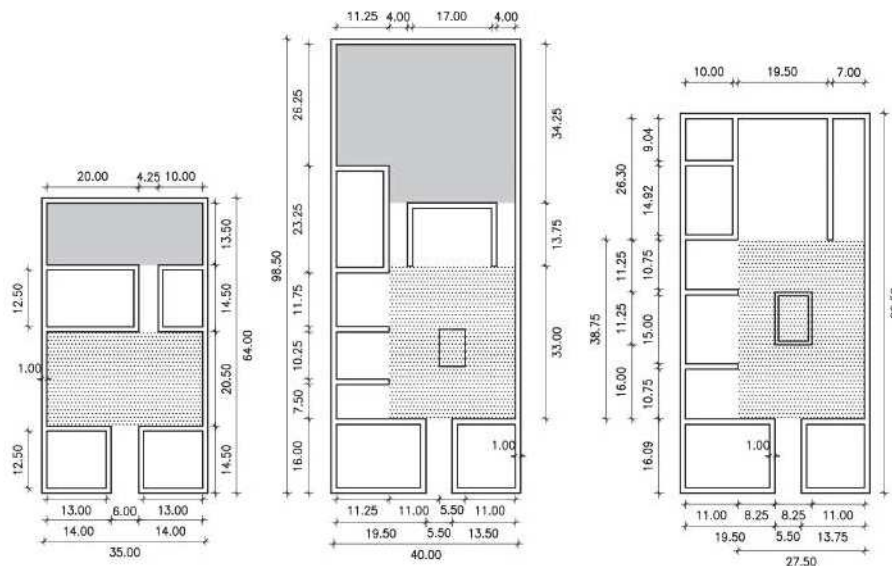


Figura 9.7: Schemi planimetrici ricostruiti di due tipi di domus ad atrio eccentrico e di una casa ad atrio minima. Il retino puntinato indica l'atrio, il grigio l'orto-giardino. Quote in piedi oschi

Orizzontamenti (5)

Dalle tracce riscontrate nelle murature, i solai originali erano evidentemente in legno, a semplice orditura e a passo relativamente fitto. Dopo la riscoperta del sito, i materiali impiegati in coperture e orizzontamenti sono molto più variegati. Negli interventi più datati sono frequenti solai cementizi di varia natura: soletta piena, SAP, putrelle annegate in getti di cls, putrelle e tavelloni, travetti cementizi e tavelloni. Lo stato di conservazione è in genere da mediocre a pessimo.

Gli interventi più recenti impiegano invece il legno lamellare, cercando di riprodurre il

passo e le sezioni delle orditure rinvenute sul posto; molto probabilmente il calpestio è formato solo con un tavolato semplice e mancano tanto la riproduzione dell'antica soletta di pavimento quanto di un sistema di adeguato irrigidimento del solaio. Catene e collegamenti di ritegno sono poco diffusi, assenti in questi interventi recenti e in genere posti in opera nel passato per contrastare cinematismi già attivati o incombenti. Stanti tali condizioni, di combinata deformabilità del solaio — anche per i solai cementizi molto probabilmente mancanti della cappa di armatura — e scadente collegamento alle murature, è ragionevole attribuire ai solai rinvenibili a Pompei una classe C o addirittura D, come previsto dal manuale della GNDT. Poiché il ruolo degli orizzontamenti, generalmente intesi, è garantire il comportamento scatolare cioè la redistribuzione delle forze e il collegamento delle pareti, in tutti i casi, e sono la maggior parte, in cui non sono presenti solai e/o coperture o la copertura non poggia sulle murature o ancora è costituita dalla sola lamiera, non ci può essere redistribuzione e la classe è automaticamente la D (Ferrini et al. 2003). La qualità dell'informazione può essere ritenuta medio-bassa, dal momento che il collegamento tra solaio e murature può essere verificato solo approssimativamente da una visita superficiale in assenza di un'apposita ispezione; nei casi in cui invece il solaio è assente o non poggia sulle murature archeologiche, la classe di informazione può essere considerata Elevata.



Figura 9.8: Esempi di loggiati a Pompei e Ercolano: a) Pompei, insula dei Casti Amanti, fronte su via dell'Abbondanza (da [64]); b) Ercolano, casa sannitica, vista dell'atrio verso il giardino (da [21])

Configurazione in elevazione (7)

Gli elementi dell'edificio da valutare per poter formulare il giudizio in merito a questo parametro sono la presenza di porticati e logge ai piani bassi dell'edificio, che prosegue poi in altezza, e le variazioni di sagoma lungo l'altezza per effetto di arretramenti e torrette; aggiunte volumetriche (logge, latrine a sporto, ecc.) vengono computate nel parametro 10. Nella casa romana gli spazi porticati, intermedi tra il dentro e il fuori, sono molto apprezzati e costituiscono un elemento caratterizzante della costruzione, tuttavia si tratta spesso di elementi aggiunti alla casa vera e propria che quindi non computano per la vulnerabilità dell'edificio. Esistono alcuni esempi di loggiati posti nella parte dell'atrio o della facciata su strada, come nella casa Sannitica di Ercolano o nell'insula dei Casti Amanti di Pompei, sorretti da colonne o pilastrini. La presenza di veri e propri portici al piano terra e soprastanti piano residenziali è più tipica dell'*insula* sul tipo ostiense. Nelle

case di Pompei si verifica piuttosto lo svuotamento del fronte principale della *domus* sulle vie di maggior traffico per fare posto agli accessi delle botteghe.

La situazione è assai frequente ma ci sono anche molti di casi di edifici con fronte totalmente cieco se si esclude la porta di ingresso, soprattutto sulle vie minori. Elementi svettanti quali torrini o belvedere in muratura non sembrano far parte degli elementi tipici della casa romana (almeno per le attuali attestazioni archeologiche) e, anche se fosse, a Pompei non sembrano essere sopravvissuti elementi di questo tipo. Poiché tipicamente il fenomeno della tabernizzazione avviene nelle case più grandi, e ammettendo di trattare il progressivo ampliamento delle “vetrine” quale porticato, si può immaginare che tali portici occupino al massimo una superficie compresa tra il 10 e il 20% dell’ingombro totale di pianta. Un giudizio A-B e isolatamente C può essere ritenuto ragionevole, con una qualità dell’informazione Media.

Distanza massima tra le murature (8)

Con questa voce si tiene in conto l’effetto di contrasto al ribaltamento semplice, il meccanismo più pericoloso, dovuto alla presenza di muri reciprocamente intersecantisi e tra loro ben ammortati. Nella scheda GNDT il termine di confronto è rappresentato soprattutto dalle facciate ma nella *domus* non possono essere trascurabili le zone dell’atrio e del peristilio dove si presentano murature di notevole lunghezza libera. Gli altri spazi interni della casa romana sembrano essere sempre abbastanza ristretti e anche le murature più lunghe sono frequentemente interrotte da muri trasversali che possono essere ritenuti di fatto portanti visto il loro spessore.

Per le tipologie a fronte stretto si rinvencono diverse situazioni: nei tipi T1 e sottovarianti il rapporto interasse/spessore è di solito inferiore a 15 per effetto di una ridotta profondità dell’atrio, nei tipi T2 nella maggior parte dei casi è compreso tra 15 e 18 ma alcuni, assieme con la tipologia T3 presentano un rapporto intorno a 20 che corrisponde alla terza classe (Fig. 9.7). Con tali indicazioni risultano rappresentate tutte le prime tre classi di questo parametro (Ferrini et al. 2003).

Coperture (9)

Il comportamento sismico delle coperture è influenzato dalle seguenti quattro circostanze:

- L’eventuale azione spingente sulle murature perimetrali;
- L’efficacia del collegamento della struttura di copertura alle murature d’ambito;
- Il peso in termini di massa sismica;
- La differenza di rigidezza/resistenza rispetto a quelle espresse dalle murature.

Una ricognizione da foto aeree e da quanto disponibile nel web delle coperture ha permesso di formare un quadro più preciso di questo aspetto determinante per la conservazione dei ruderi archeologici, sia dal punto di vista climatico/ambientale sia sotto il profilo sismico².

²Si rimanda ancora a [17] e a [65]

Ne risulta che, alquanto sorprendentemente, la maggior parte delle coperture è stata realizzata dagli anni Settanta in poi, poiché nelle fotografie di un'estesa campagna di indagine realizzata alla metà del decennio precedente si vede chiaramente come le case che oggi si presentano coperte all'epoca della foto non lo erano. Tolti i casi di opere provvisori, in tubo-giunto e lamiera ondulata, vuoi per una soluzione protettiva rapida vuoi per mettere in sicurezza un'intervento di copertura ormai deteriorato, le chiusure superiori degli edifici di Pompei possono essere distinte sulla base dei materiali impiegati: cemento armato, acciaio e legno.



Figura 9.9: Esempi di ricostruzioni di solai recenti a soli fini didattici e non strutturali a Pompei

Le strutture più datate sono senza dubbio quelle realizzate nei primi due materiali, mentre il legno (lamellare) è impiegato nelle costruzioni e ricostruzioni di epoche più recenti, probabilmente a partire dagli anni Duemila. Le strutture in calcestruzzo vengono utilizzate per la ricostruzione delle travature portanti in legno degli antichi edifici, come le capriate o le strutture dell'atrio oppure per la formazione di impalcati piani con l'aiuto delle pignatte in laterizio di alleggerimento; la piccola orditura è realizzata in legno ma non mancano casi in cui anche questa è formata da travetti in c.a. Poiché il manto di copertura delle falde inclinate è ottenuto dalle sole tegole disposte alla romana o, nel caso di coperture piane, da manti impermeabili per lo più datati, sono frequenti le sconessioni e l'ingresso di acqua che provoca il deterioramento tanto dei materiali archeologici quanto degli stessi nuovi inserimenti. Nel caso di travature in calcestruzzo armato sono presenti estese ricostruzioni murarie, mentre i cordoli e le sezioni delle travi sono in genere importanti secondo gli usi progettuali dell'epoca. Le strutture in acciaio invece sono ispirate ad un concetto completamente diverso, di minima interferenza con le rimanenze archeologiche, pertanto, per quanto orientate a fornire una riconfigurazione volumetrica degli spazi — anche se ciò può dirsi vero prevalentemente per la zona dell'atrio e meno per gli altri ambienti —, si impostano molto più in alto delle murature archeologiche e presentano propri sostegni verticali che possono tanto poggiare puntualmente sulle murature quanto arrivare a terra in fondazioni interrate (di cui non è chiara la natura) o in piccoli plinti in cls estradossati. Si tratta comunque di strutture estremamente leggere, realizzate in tubi quadri, lamiera grecata e cupolini di plexiglas in corrispondenza dell'impluvio. Le coperture in legno tendono per lo più a riprodurre le configurazioni antiche che si presentano come spingenti nella copertura o non spingenti quando vanno a ricostruire i solai degli ambienti posti al primo piano. Nelle strutture in legno non si evidenziano cordoli nè elementi di collegamento tra l'orizzontamento e le murature.

Sulla base di tali informazioni è possibile compilare la relativa sezione della scheda GNDT.

Rispetto alla configurazione statica, spingente o meno, si possono rivenire tutte le casistiche, anche se la copertura completamente spingente sembra essere la meno frequente delle tre. Più comune appare invece la configurazione poco spingente, vuoi perché tipica dei peristili vuoi perché usata per risolvere la copertura di singoli ambienti in cui è richiesta la conservazione di apparati pittorici o mosaici di maggior pregio; il tetto piano sembra anch'essa una soluzione piuttosto frequente.

Poiché il collegamento tra solai e murature può dirsi in genere di bassa qualità per via dell'uso di sezioni in c.a. molto grandi al fine di riprodurre gli originali lignei su murature in genere scadenti o comunque per la realizzazione non contestuale di cordoli ecc., ne risulta che nei casi di coperture in calcestruzzo armato il giudizio del parametro oscilla tra C e D, nel caso delle strutture lignee invece il beneficio delle minori masse strutturali riduce la vulnerabilità a classe B/C; in caso di assenza di copertura o delle citate coperture in acciaio che gravano sulle strutture archeologiche (per quanto poco) e non provvedono ad un adeguato contenimento in fase sismica delle murature la classe è ancora la D (Ferrini et al. 2003). La qualità dell'informazione può essere ritenuta Medio-bassa anche in questo caso.



Figura 9.10: Balconi e pensiline di ricostruzione a Pompei



Figura 9.11: Esempi di coperture impiegate a Pompei: a) rovine in forte degrado (VI,2,10); b) ruderi con le creste murarie pareggiate (VI,2,22); c) edifici con copertura di ricostruzione (IX,13,1; da pompeiiinpictures.org)

Elementi non strutturali (10)

La voce tiene conto di tutte quelle estensioni della fabbrica — comignoli, aggetti, infissi, insegne — che in caso di sisma possono rovinare al suolo e travolgere cose e persone nel loro crollo.

La scheda accorpa nella formulazione del giudizio le due classe inferiori — assenza e/o

ridotta importanza/entità di questi elementi — e distingue solo tra le situazioni a bassa e alta vulnerabilità. Nel caso specifico di Pompei in numerose facciate delle vie di transito si riscontra la presenza di pensiline, muri in bandiera, corpi aggettanti in gran parte di ricostruzione o di integrazione dei lacerti archeologici che tuttavia presentano un'elevata vulnerabilità sismica. Si tratta infatti di strutture in genere pesanti, realizzate con materiali fragili (tegole e tavole di laterizio), esposte al degrado atmosferico, scarsamente vincolate alle strutture antiche proprio perché di ricostruzione. La classe più opportuna risulta pertanto la "D" con una qualità dell'informazione Media (Ferrini et al. 2003).

Stato di fatto (11)

Il parametro si riferisce alla qualità apparente — nel senso di valutabile a vista eventualmente col supporto di limitati saggi sulla consistenza delle malte e sull'entità delle lesioni) — delle murature portanti. Un sommario rilievo visivo permette di evidenziare sia lesioni risalenti al terremoto del 1980 sia i danni sismici del sisma del 62 d.C. anche se non è al momento possibile una sistematizzazione. Lo stato di conservazione generale non può dirsi certo "buono" per murature lasciate in larghissima parte esposte alle intemperie prive come sono di coperture, intonaci, oltre a opere provvisorie e collegamenti. Di converso può giocare a favore la tipica buona qualità della muratura romana, per quanto riguarda le malte e l'affinità di queste con la pietra. Sembra pertanto lecito ascrivere le murature pompeiane tanto alla categoria "C" almeno in conseguenza della quasi sicura presenza di "lesioni capillari diffuse di origine sismica" così come di "lesioni statiche di media entità" (Ferrini et al. 2003) e della considerazione del basso livello di conservazione dei materiali. La qualità dell'informazione può ritenersi Bassa.

L'indice di vulnerabilità I_v per tutti i punteggi nella classe più bassa è pari a 0,34, che corrisponde ad una vulnerabilità medio-bassa secondo Ferrini et al. (2004); combinando invece tutte le classi superiori si arriva a 75 cioè una vulnerabilità da medio alta ad alta (Tab. 9.2).

9.4 Implementazione in Vulnus

Il programma Vulnus (Bernardini et al. 2010) fornisce la misura di vulnerabilità sismica di edifici in muratura attraverso la stima della percentuale di meccanismi locali di collasso attivati in rapporto ad una certa accelerazione sismica attesa al suolo.

La procedura permette di combinare informazioni di natura meccanica semplificata con il rilievo semiotico di vulnerabilità basato sulla scheda GNDT di II livello. La "resistenza" dell'edificio al sisma viene espressa mediante due indici, I_1 e I_2 , relativi rispettivamente al comportamento nel piano e fuori piano dell'edificio.

Il primo parametro (I_1) esprime il rapporto tra il taglio massimo resistente alla base dell'edificio nelle due direzioni principali e il peso totale della costruzione, assumendo ovviamente il valore minore. Dipende esclusivamente dalle caratteristiche della muratura, dalla geometria dei setti murari e dal peso di orizzontamenti e coperture.

Il secondo parametro (I_2) esprime l'attivazione di un meccanismo fuori piano nel n-tesimo setto. Esso viene determinato sommando il coefficiente di attivazione sismico dei

meccanismi di ribaltamento per strisce verticali (ribaltamento globale, flessione dell'ultimo piano) e quello dei meccanismi orizzontali (meccanismo ad arco in spessore, ribaltamento delle spalle dell'arco e resistenza a trazione delle murature trasversali). Va poi presa in considerazione l'interazione tra edifici adiacenti, suddividendo le pareti tra edifici comuni in proporzione al numero di piani per il calcolo di I_1 mentre, ai fini del calcolo di I_2 , alcuni meccanismi risultano impediti.

Tabella 9.2: Corrispondenza tra tipo di muratura in uso a Pompei e classe GNDT. La prima lettera corrisponde alla situazione più probabile

Parametro	Giudizi possibili	Note	Punteggio
1	C-D	C per murature in buono stato e qualche catena, D per situazioni di degrado	25-45
2	B÷D	Secondo la presenza di listature, della consistenza della malta, della regolarità del paramento in opera incerta	5-25-45
3	D	-	45
4	B-D	Giudizio peggiore per case sui punti più accidentati (es. mura)	5-25-45
5	C-D	Il giudizio peggiore corrisponde a case prive di orizzontamenti o con coperture in c.a.	15-45
6	A-B	A in genere per tutte le tipologie, casi di dettaglio al massimo B	0-5
7	B-A	In genere per la presenza delle aperture delle botteghe al pianterreno, A se queste sono assenti in funzione della tipologia	5-0
8	A÷C		0-15-25
9	C-D	Giudizio migliore per le strutture in legno, peggiore per il calcestruzzo e l'assenza di copertura	25-45
10	D-C	A seconda della pesantezza delle strutture sporgenti e dello stato degli elementi di supporto	45-25
11	C-D	In genere; D in casi di pessima conservazione	25-45

I giudizi della scheda GNDT contribuiscono a formare il terzo parametro (I_3) che corrisponde a valutazioni di natura empirica non altrimenti determinabili.

Il calcolo degli indici passa attraverso la schematizzazione dell'edificio secondo precise indicazioni (Bernardini et al. 2010) che restituiscono la pianta di Fig. 9.12, cui corrisponde la maschera di inserimento di Tab. 9.3. Relativamente all'edificio analizzato l'indice I_1 minimo di determina in direzione verticale (lungo il setto 1 in Fig. 9.12), ed è pari a 0,498; nell'altra direzione vale invece 0,567. L'indice è adimensionale e, in base ai valori assunti, si può dedurre un buon comportamento alle sollecitazioni agenti nel piano delle pareti. L'indice I_2 minimo è pari a 0,276 e si rinviene nel setto 5, corrispondente alla parete laterale dell'atrio, la più lunga dell'intero edificio.

È possibile valutare la "sopravvivenza" dell'edificio cioè l'attivazione o meno dei meccanismi calcolati rapportando i coefficienti di attivazione ai livelli di accelerazione sismica attesa al suolo per i diversi stati limite. Per il sito di Pompei tali livelli sono determinati al Cap. 12 e si osserva che per gli stati limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e di Collasso (SLC) si verifica il "crollo" cioè l'attivazione di una certa percentuale dei meccanismi calcolati; per lo stato limite di Danno (SLD) invece la struttura è sicura.

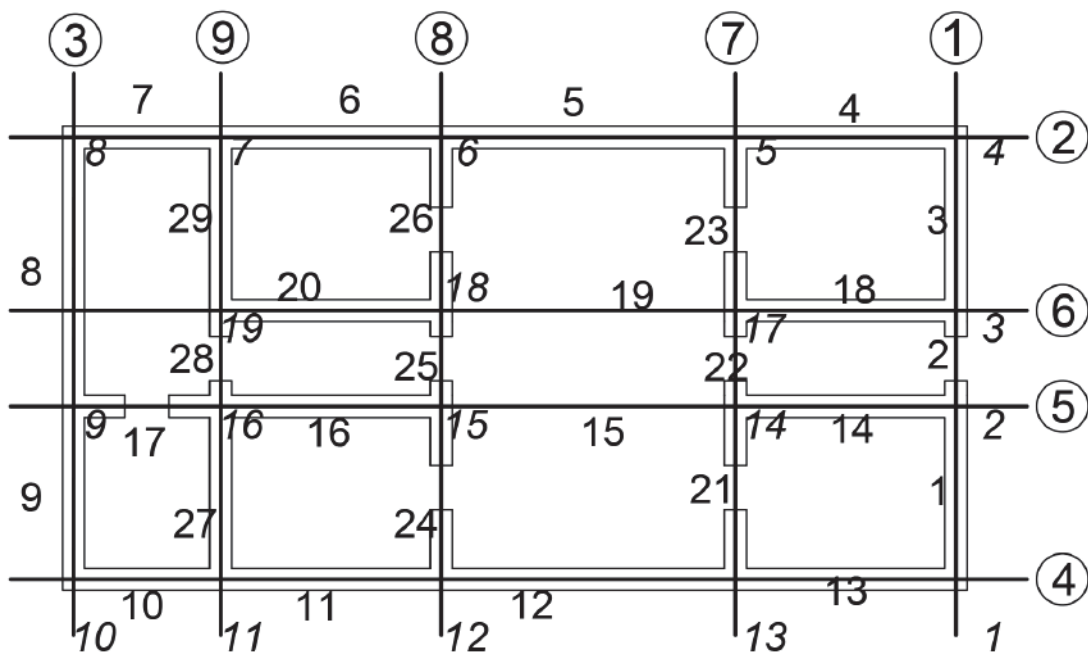


Figura 9.12: Schematizzazione per l'implementazione in Vulnus di una casa del tipo minimo. I numeri entro i cerchi indicano le pareti, i numeri in corsivo i nodi, i restanti i setti

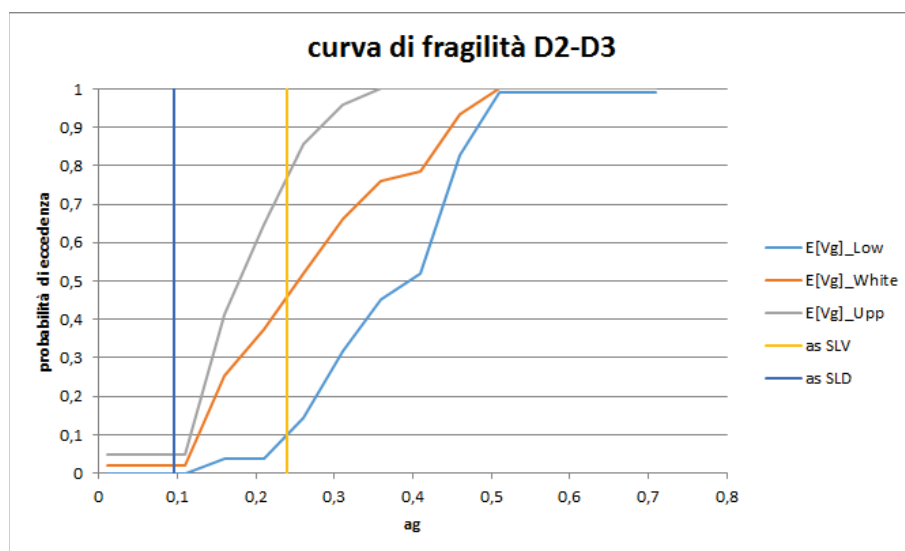


Figura 9.13: Curva di fragilità per l'edificio di Fig. 9.12 relativa al livello di danno D2-D3

Ricavando dalla distribuzione dei coefficienti di attivazione dei meccanismi la funzione cumulata secondo un modello binomiale e utilizzando l'indice I_3 per determinare l'intervallo di confidenza è possibile calcolare la curva di fragilità della struttura. Tale curva corrisponde ad un livello intermedio tra i livelli di danno 2 e 3 secondo Grunthäl (1998), ai quali si verifica l'attivazione dei meccanismi di collasso. Nel grafico (Fig.9.1) sono riportati anche le azioni di ancoraggio dello spettro al suolo per lo SLD e lo SIV, potendo osservare

che il valore centrale di probabilità di eccedenza — vale a dire la possibilità di avere *almeno* D3 — è pari a 0,45 circa, con un intervallo pari a +/- 30% a causa del basso di livello di conoscenza. I valori ottenuti sono comunque in linea con i risultati della scheda GNDT di II livello.

9.5 Osservazioni finali

Le strutture archeologiche sono il risultato della disaggregazione della scatola muraria originale e della scomparsa dei collegamenti orizzontali della stessa costituiti da solai e coperture. La mancanza o la labilità di tali collegamenti rende i lacerti potenzialmente assai vulnerabili. Gli strumenti di letteratura che tengono conto di questi specifici aspetti richiedono dati impossibili da definire a livello tipologico — tra tutti l'altezza delle murature —, pertanto il riferimento a metodi tipologici di analisi della vulnerabilità sismica, in questa fase dello studio, è sembrato più opportuno.

Pur nell'incertezza derivante da una valutazione che fa riferimento ad uno schema di pianta idealizzato con le caratteristiche dell'attuale stato di conservazione, si sono ottenuti risultati interessanti a seguito dell'applicazione di strumenti ampiamente collaudati sul costruito storico italiano, quali la scheda GNDT II livello muratura e la procedura *Vulnus*. In particolare la valutazione di vulnerabilità ha restituito, per i livelli di accelerazione sismica attesi a Pompei, una vulnerabilità media e potenzialmente anche alta, peraltro in linea con i risultati ottenuti mediante i metodi basati sull'analisi dei singoli lacerti.

Nel caso di Pompei, la copertura sarà quindi chiamata a svolgere anche un importante ruolo strutturale nella protezione dei lacerti murari dal sisma.

Tabella 9.3: Tabella di rilievo delle geometrie dell'edificio per l'inserimento in Vulnus

<i>Direzione</i>	<i>Nodo iniziale sett</i>	<i>Progressivo setti</i>	<i>Nodo finale setto</i>	<i>Spessore PT</i>	<i>Lunghezza setto</i>	<i>Lunghezza fori</i>	<i>Spalle</i>	<i>Spessore UP</i>	<i>Piani edifici attiguo</i>
°	num		num	cm	cm	cm	num	cm	num
0	1	1	2	45	323	0	1	45	0
0	2	2	3	45	179	83	5	45	0
0	3	3	4	45	323	0	1	45	0
90	4	4	5	45	413	0	1	45	-1
90	5	5	6	45	550	0	1	45	0
90	6	6	7	45	413	0	1	45	-1
90	7	7	8	45	275	0	1	45	0
180	8	8	9	45	502	0	1	45	0
180	9	9	10	45	323	0	1	45	-1
-90	10	10	11	45	275	0	1	45	0
-90	11	11	12	45	413	0	1	45	-1
-90	12	12	13	45	550	0	1	45	0
-90	13	13	1	45	413	0	1	45	-1
90	2	14	14	45	413	0	1	45	-1
90	14	15	15	45	550	550	5	45	-1
90	15	16	16	45	413	0	1	45	-1
90	16	17	9	45	275	83	2	45	0
90	3	18	17	45	413	0	1	45	-1
90	17	19	18	45	550	550	5	45	-1
90	18	20	19	45	413	0	1	45	-1
0	13	21	14	45	323	83	2	45	0
0	14	22	17	45	179	83	5	45	0
0	17	23	5	45	323	83	2	45	0
0	12	24	15	45	323	83	2	45	0
0	15	25	18	45	179	83	5	45	0
0	18	26	6	45	323	83	2	45	0
0	11	27	16	45	323	0	1	45	-1
0	16	28	19	45	179	83	5	45	0
0	19	29	7	45	323	0	1	45	0

G.N.D.T. – SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)



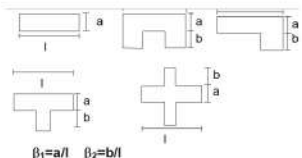
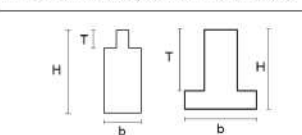
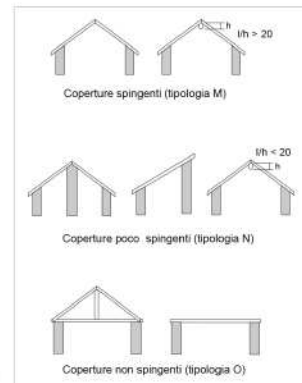
Codice ISTAT Provincia ¹		Codice ISTAT Comune ³		Scheda N° ⁷		
PARAMETRI	Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI – RICHIAMI	
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	11	22	Norme nuove costruzioni (Clas. A) ³³	1	Parametro 3. Resistenza convenzionale Tipologia strutture verticali τ_x (t/mq) _____ _____ _____ _____ _____ Minimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Massimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Coeff. $a_0 = A/A_t$ _____ Coeff. $\gamma = B/A$ _____ $q = (A_x + A_y) h p_m / A_t + p_s$ _____ $C = \frac{a_0 \tau_x}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1,5 q \tau_x (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0,4$ _____
				Norme riparazioni (Clas. A)	2	
				Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B)	3	
				Buoni ammorsam. fra muri (Clas. C)	4	
				Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D)	5	
2	QUALITÀ DEL S.R.	12	23	(vedi manuale) ³⁴		
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	15	24	Numero di piani N ³⁵		
				Area totale coperta A_t (mq) ³⁷		
				Area A_x (mq) ⁴¹		
				Area A_y (mq) ⁴⁴		
				τ_x (t/mq) ⁴⁷		
				Alt. media interpiano h (m) ⁵⁰		
				Peso specifico pareti p_m (t/mc) ⁵²		
Carico permanente solai p_s (t/mq) ⁵⁴						
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	14	25	Pendenza percentuale del terreno ⁵⁶		
				Roccia Fondazioni: Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2		
				Terr. sciolto non sping. Fond. Si <input type="checkbox"/> 3 No <input type="checkbox"/> 4		
				Terr. sciolto spingente Fond. Si <input type="checkbox"/> 5 No <input type="checkbox"/> 6		
				Differen. max di quota Δh (m) ⁵⁹		
5	ORIZZONTAMENTI	15	26	Piani sfalsati Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2		
				Orizzontamenti rigidi e ben collegati ⁶³	1	
				Orizzontam. deformabili e ben collegati	2	
				Orizzontam. rigidi e mal collegati	3	
				Orizzontam. deformabili e mal collegati	4	
% Orizzontam. rigidi e ben collegati ⁶⁴						
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	16	27	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$ ⁶⁶		
				Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$ ⁷⁰		
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	17	28	% aumento (+) o diminuzione(-) di massa ⁷⁴		
				Rapporto percentuale T/H ⁷⁷		
				Percentuale superficie porticata ⁷⁹		
				Piano terra porticato Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2		
8	D_{max} MURATURE	18	29	Rapporto massimo l/s ⁸²		
9	COPERTURA	19	30	Copert. non sp. ⁸⁴ <input checked="" type="checkbox"/> poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2		
				Cordoli in copertura Si ⁸⁵ <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2		
				Catene in copertura Si ⁸⁶ <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2		
				Carico perman. coper. p_c (t/mq) ⁸⁷		
				Lungh. appoggio coper. l_s (m) ⁹⁰		
				Perimetro copertura l (m) ⁹³		
10	ELEM. NON STRUTT.	20	31	(Vedi manuale)		
11	STATO DI FATTO	21	32	(Vedi manuale)		
					Parametro 6. Configurazione planimetrica 	
					Parametro 7. Configurazione in elevazione 	
					Parametro 9. Copertura 	

Figura 9.14: Scheda GNDT di II livello per la muratura (da Benedetti e Petriani 1984)

Capitolo 10

Strumenti per la preprogettazione di sistemi a configurazione variabile. Modellazione parametrica

Il numero e la contraddittorietà interna tra le regole di progetto illustrate in precedenza (Cap. 5) rappresentano una difficoltà quasi insuperabile se si ricorre ad una progettazione tradizionale “manuale”, di tipo additivo e per tentativi a meno di non ricorrere a semplificazioni e approssimazioni le quali possono condurre a esiti negativi. È necessario pertanto immaginare un metodo di progetto in cui al centro vengono poste le regole, indipendentemente dalla soluzione formale specifica, e le modifiche possano propagarsi in tempo reale. Il *Building Information Modelling* (BIM) corrisponde ai requisiti descritti ma non è ancora in grado di offrire al progettista la completa libertà richiesta dall’applicazione archeologica, a causa dell’uso di sole regole predefinite (es. un oggetto “porta” può essere applicato solo ad un oggetto “muro”) e di oggetti provenienti da librerie precaricate. La progettazione parametrica invece risponde a tutti i requisiti, lasciando piena libertà creativa anche dal punto di vista formale.

La vera potenzialità della soluzione proposta non risiede nella capacità di poter ottenere forme complesse bensì nella possibilità di definire regole generiche che siano capaci di adattarsi a una molteplicità di configurazioni in maniera completamente autonoma, spostando l’importanza dal prodotto (il modello) di output, al processo. In tale modo è possibile ottenere non *il* modello dell’oggetto ma *uno* dei possibili modelli definibili a partire dalla combinazione dei parametri.

10.1 La modellazione parametrica e gli algoritmi genetici

La modellazione parametrica invece i progettisti riescono ad andare oltre i limiti imposti dal processo additivo, avvicinandosi maggiormente alla natura associativa già intrinseca al processo cognitivo di sviluppo dell’immagine che l’intelletto cerca di visualizzare. La modellazione parametrica o *constraint modeling* introduce una differenza sostanziale rispetto al metodo tradizionale: la presenza di elementi che diventano parte del disegno, che sono messi in relazione tra di loro e che vengono modificati in maniera coordinata.

Grazie a questo sistema di vincoli, il modello non è costituito da una serie di elementi indipendenti, ma si comporta come un oggetto “vivo”, in cui le parti sono collegate tra di loro e cambiano assieme in maniera coordinata. Secondo questo nuovo approccio associativo, la verifica della coerenza strutturale e delle disposizioni degli elementi nello spazio non è più demandate al disegnatore o all’osservatore, ma il modello stesso. L’utilizzo di dinamiche associative comporta l’espansione delle operazioni effettuabili sul disegno dalla semplice addizione e sottrazione: i progettisti ora possono aggiungere, cancellare, relazionare e riparare. (Tedeschi 2014)

Quindi in un software di modellazione non-parametrico significa che non è possibile intervenire direttamente sulla “storia” delle modifiche che l’utente apporta ai parametri degli oggetti e che il modello contiene implicitamente. Nei software parametrici è invece possibile creare direttamente la successione di modifiche ai parametri collegando esplicitamente i modificatori seguendo il flusso di dati ottenendo quanto si definisce un *direct acyclic graph* o DAG. Ulteriore aspetto caratteristico è che pur trattandosi a tutti gli effetti di un codice, esso non viene scritto sotto forma di listato testuale ma di “scatole” contenenti i modificatori e gli oggetti collegate da cavi all’interno di uno spazio virtuale. Per sua natura, questo tipo di implementazione è puramente sequenziale e non sono previsti cicli o iterazioni (strutture tipo *for-next* o *while-do*) cui si cerca di sopperire tramite liste e alberi. Una volta definita la procedura nel software parametrico è in grado di cambiare in tempo reale l’oggetto entro il software di modellazione semplicemente cambiando i dati di input (*associative programming*) (Vierlinger 2013; Fig. 10.1).

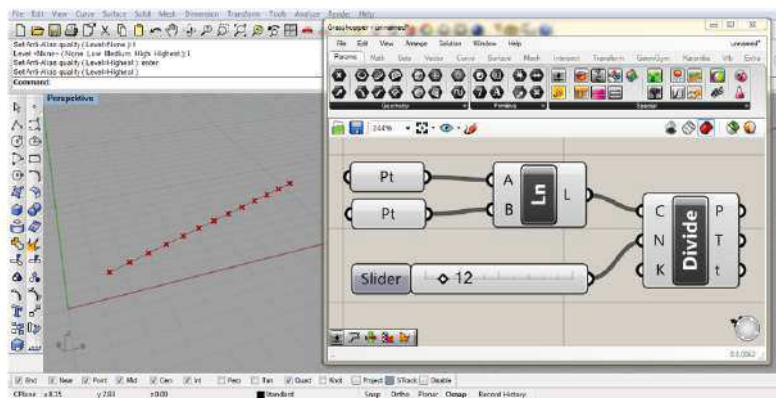


Figura 10.1: Esempio di algoritmo di modellazione parametrica e sua visualizzazione nel software di modellazione (da Vierlinger 2013)

Il “codice” si compone di (Izzo 2017; Fig. 10.2)¹ :

Componenti di input: forniscono informazioni, come numeri e colori, che possono essere manipolati direttamente scorrendo dei valori all’interno di un determinato dominio. Una caratteristica importante di questo tipo di componenti è che non si aspettano alcun tipo di dato in input: per questo solitamente sono posizionati a monte del ramo del diagramma di cui fanno parte;

¹Nel seguito i comandi dei vari software saranno indicati nel testo dalla notazione |Nome|.

Componenti contenitore: si tratta di celle, all'interno delle quali vengono immagazzinati dati che potrebbe essere necessario monitorare a un certo punto lungo il flusso del diagramma. I contenitori sono dotati di una notevole versatilità, ma ognuno di loro aspetta un formato di dati uniforme, come il tipo di geometria da memorizzare: ad esempio i contenitori per i punti possono raccogliere una notevole quantità di punti, ma non curve o piani;

Componenti standard: l'ultima categoria racchiude al suo interno i componenti capaci di svolgere delle operazioni di elaborazione dei dati. Questo tipo richiede sempre che gli vengano forniti degli input, che vengono processati per generare un output ben preciso output in relazione al tipo operazioni presenti al suo interno. Un componente standard può richiedere, ad esempio, un insieme di coordinate geometriche $\{x; y; z\}$ come dati da immettere al fine di generare un punto come output; allo stesso modo, un componente loft chiederà che gli venga inserito al suo interno un insieme definito di curve per generare una superficie. Tali output possono poi essere riutilizzati come input da altri componenti per dare vita a forme sempre più complesse.

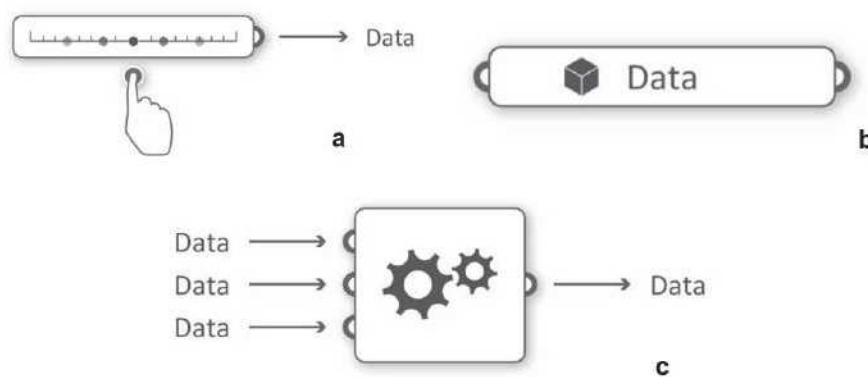


Figura 10.2: Rappresentazione schematica degli oggetti presenti in un algoritmo visuale: a) componente di input; b) contenitore; c) componente standard (da Izzo 2017)

I componenti standard possono essere considerati centrali per la definizione della morfologia geometrica, perché regolano il contenuto sostanziale delle istruzioni algoritmiche. I diversi livelli di concatenazione raggiunti da questa categoria rispecchiano i diversi gradi di complessità del diagramma, assieme all'aumento degli input parametrici (Tedeschi 2014). Quando uno dei componenti standard viene posizionato sul piano di lavoro, necessita di essere collegato a una tipologia ben precisa di dati per poter svolgere le operazioni per cui è stato realizzato. Solitamente questa tipologia di componenti può essere suddivisa in tre parti distinte: lo spazio per gli input, il nome e lo spazio per gli output. Solitamente i primi risultano essere in numero maggiore rispetto alle informazioni in uscita, essendo il compito di questo componenti quello di combinare assieme vari dati tra loro in maniera da ottenere un risultato significativo. Un generico componente k si struttura in (Fig. 10.3):

Input slots. Una serie di spazi di input in un esempio di componente standard k . Possono variare in numero ma sono sempre una quantità finita, che è specifica per ogni componente standard. Nel caso del componente $|Construct Point|$ sono richiesti tre

input, corrispondenti alle coordinate $\{x; y; z\}$. Ogni slot accetta solamente dati di uno specifico formato.

Nome del componente. Al centro del componente standard k si trova il nome. Nel caso di Grasshopper per Rhinoceros viene visualizzata un'abbreviazione del nome del componente oppure un'icona che lo rappresenti. In ogni caso ogni componente può essere rinominato manualmente in base alle proprie esigenze.

Output slot. Lo spazio per gli output per il componente standard k ; in questo caso è singolo. Questa porzione del componente mostra un numero di output che varia in base al componente preso in considerazione e non tutti gli output devono necessariamente avere lo stesso formato. Riprendendo l'esempio del componente denominato *Construct point* | a l'output sarà singolo e rappresenterà un punto nello spazio.

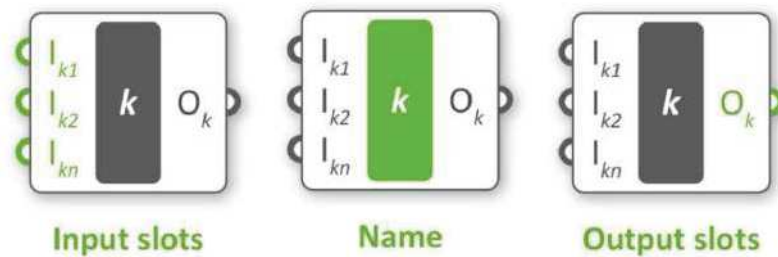


Figura 10.3: Costituenti del componente standard: a) input; b) nome; c) output (da Izzo 2017)

Sono proprio i componenti standard a svolgere il compito di scomporre l'intero processo in operazioni più semplici, finalizzate ad ottenere l'output finale, secondo quel procedimento caratteristico della modellazione algoritmica. Proprio per la necessità che ogni nodo sia in grado di passare informazioni al successivo è fondamentale che ogni componente scambi i dati adattando opportunamente i propri slot con altri esterni che siano compatibili. Le coordinate, quando inserite dentro al componente *Construct point* | cambiano formato e diventano un punto, così come due punti, se vengono trasformati in un segmento quando utilizzati nel componente *Two point line* |. Questo continuo cambiamento di formato risulta essere particolarmente importante quando si hanno algoritmi molto estesi con innumerevoli tipologie di elementi che si devono interfacciare. Possiamo poi individuare una categoria aggiuntiva rappresentata dai "componenti non standard", cioè quelli creati direttamente dagli utenti generati tramite dei cluster di componenti standard che vengono raggruppati tra loro e fatti "collassare" in un unico componente personalizzato. Per far comunicare tra loro i diversi nodi, gli utenti possono collegare i dati ai componenti in diversi modi, riconducibili a tre modalità: l'assegnazione manuale, l'assegnazione tramite la finestra di visualizzazione oppure tramite la connessione cablata (Izzo 2017; Fig. 10.4).

Assegnazione manuale: la definizione delle informazioni avviene selezionando direttamente il componente standard e inserendo il valore scelto all'interno dello slot tramite un menu a tendina;

Assegnazione tramite visualizzatore: alcuni componenti permettono di associarvi direttamente un elemento proveniente dalla geometria disegnata direttamente con il

mouse nel visualizzatore, senza per questo perdere alcuna proprietà della dinamica associativa;

Assegnazione tramite connessione cablata: il terzo metodo risulta essere sicuramente il più utilizzato tra i tre, soprattutto nel caso di diagrammi molto complessi. I fili trasportano le informazioni dall'output di un componente fino all'input di un altro, accoppiando tra di loro i rispettivi slots.

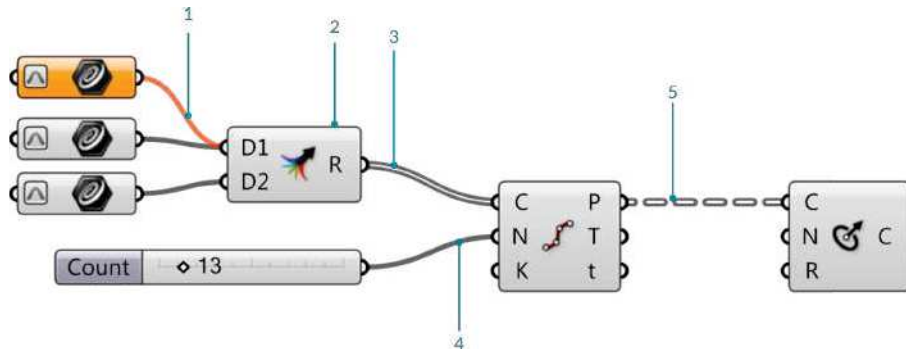


Figura 10.4: Costituenti del componente standard: 1) filo privo di dati; 2) componete con dati multipli di ingresso indipendenti; 3) connettore con dati multipli; 4); connettore con un'unica informazione 5) trasmissione dati con strututra ramificata (da Basso 2018)

Gli algoritmi rappresentano i principi generatori tramite i quali viene definito l'aspetto e il comportamento dei modelli: questi funzionano come delle "istruzioni di montaggio", che permettono di concentrarsi sull'organizzazione del processo piuttosto che sul risultato effettivo. Di fatto, se il processo è stato definito correttamente, sarà possibile da un lato arrivare al risultato che il progettista aveva in mente, dall'altro mettere in luce variabili di cui inizialmente non si era tenuto conto, interessanti che possono fornire spunti ugualmente interessanti. Nell'evoluzione del processo progettuale, il passo successivo è strutturare adeguatamente l'algoritmo per mezzo di parametri logici definiti dall'utente in modo che l'output si autodefinisca per trovare la configurazione ottimale; l'algoritmo diventa quindi nient'altro che la regola prescrittiva che informa tale processo di auto-organizzazione (Izzo 2017).

Una volta che questo viene definito esistono due modi alternativi, ma non esclusivi, di vincolare il sistema, che corrispondono a due diversi schemi procedurali: il primo descrive un processo lineare di calcolo, mentre il secondo consiste in un processo di calcolo ciclico (Izzo 2017). In entrambi i casi, i risultati di output ottenuti sono il risultato di una ben precisa configurazione di valori parametrici impostati per venire calcolati da una precisa rete di operazioni geometriche; l'intero insieme di componenti, assieme alle relative connessioni, costituisce il sistema complessivo di vincoli entro i quali operare. Nonostante il punto di partenza sia sostanzialmente lo stesso, i processi lineari e circolari differiscono nel modo in cui calcolano le forme di output. All'interno di un processo lineare, cioè la versione regolare di un algoritmo parametrico, i flussi di dati descrivono cicli aperti dall'input ai valori di output in uno schema rigorosamente da sinistra a destra (Fig. 10.5). Il processo di computazione è una routine autonoma che si arresta non appena l'output viene trovato (sulla destra) ad ogni cambio di valori parametrici (a sinistra): qui, la linearità è particolarmente evidente. Viceversa, un processo circolare, ovvero l'esten-

sione generativa di un algoritmo parametrico, definisce flussi di dati in cicli chiusi (Fig. 10.6). In questo caso il calcolo dell'algoritmo non è più una routine autonoma, ma risulta essere direttamente dipendenti dagli output del ciclo precedente, reimmessi all'interno del flusso e valutati secondo un meccanismo di feedback che va ad emulare il comportamento adattiva della natura organica. In questo caso quindi non si ha linearità, ma ricorsione. La generazione lineare o circolare rispecchiano rispettivamente i due stili di manipolazione parametrica: progettazione diretta e progettazione inversa; questi due approcci richiedono un diverso livello di interazione tra uomo e macchina, che ha implicazioni significative sul modo in cui vengono controllati i parametri per raggiungere determinati obiettivi di prestazione (Basso 2018). In entrambi i casi comunque, scegliere quali parametri definire all'inizio dell'algoritmo e quali siano gli obiettivi finali rimane compito dell'utente. Il processo lineare prevede che sia l'utente stesso a supervisionare tutto il processo, intervenendo direttamente sugli *slider* che manipolano i parametri, tenendo conto dell'obiettivo prestazionale che si vuole raggiungere attraverso una pratica di messa a punto.

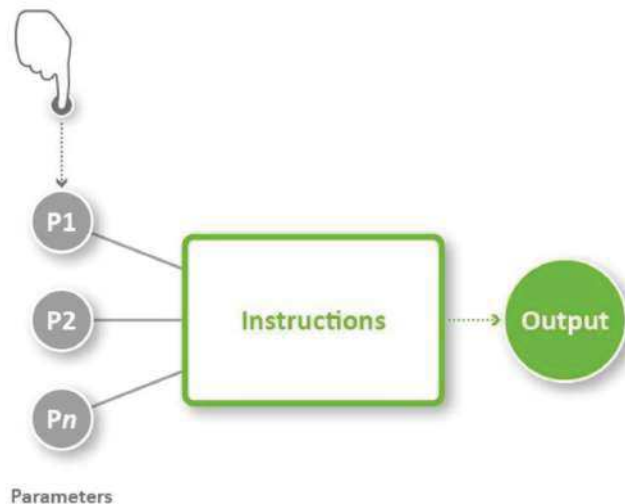


Figura 10.5: Rappresentazione schematica di generazione lineare con la modellazione parametrica. In questo caso è l'utente dall'esterno a modificare personalmente i parametri per ottenere l'output voluto (da Izzo 2017)

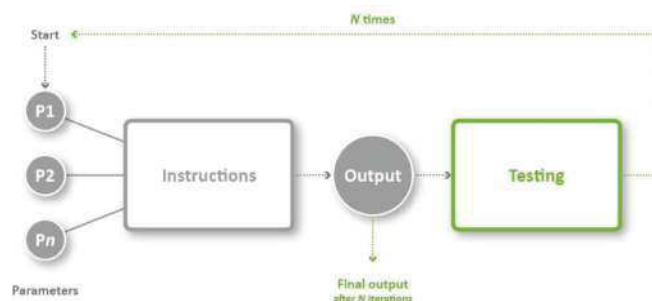


Figura 10.6: Rappresentazione schematica della generazione circolare con la modellazione parametrica. In questo caso il risultato finale si ottiene solo dopo che sono state calcolate n iterazioni dell'algoritmo (da Izzo 2017)

Al contrario, il processo di progettazione inversa attribuisce al computer un ruolo centrale nella manipolazione dei valori di controllo che vengono analizzati ciclicamente al fine di trovare la combinazione più adatta dei parametri di partenza. Collegare una componente prestazionale ai parametri alla radice significa sbloccare il ricalcolo automatico delle impostazioni di input più e più volte, alimentando l'evoluzione della forma verso un obiettivo noto tramite un processo di "trial and error" che si attua ad ogni propagazione di nuovi dati. In un certo senso, la progettazione inversa consiste nell'impostare un obiettivo, in maniera dettagliata e univoca, lasciando alla macchina il lavoro di trovare le migliori configurazioni ai parametri iniziali assegnati. Al completamento dell'attività si avranno più configurazioni ottimali: spesso l'interrelazione tra le entità agenti non sono tali da formulare una unica risposta, ma più scenari che l'utente, che è anche il progettista dello script, dovrà discernere. La pratica dell'ottimizzazione permette l'estensione ricorsiva di un diagramma parametrico che, altrimenti, sosterebbe solo le connessioni da sinistra a destra. In questo senso, vengono esplorate soluzioni che estendono l'ipotesi iniziale e controllano le routine attraverso un ciclo che imita i principi della selezione naturale, dove un confronto continuo con i valori di riferimento prende la migliore generazione, cioè quella adattabile per sopravvivere e trasmettere i suoi caratteri ereditari migliori ad ogni turno (Basso 2018; Tedeschi 2014). La conversione di un programma parametrico lineare in un loop ricorsivo, richiede che l'intero sistema sia limitato attraverso un ottimizzatore o optimization solver: questo non è altro che uno speciale componente standard che consente di regolare l'interazione tra valori di input e di output. Il solutore lavora in maniera euristica cioè non trova una soluzione univoca ed esatta, ma approssimata e, in quanto tale, viene utilizzato quando non è possibile trovare soluzioni esatte, a causa della complessità intrinseca del problema (Basso 2018). Poiché i problemi architettonici e urbani richiedono la gestione di un numero considerevole di variabili, eterogenee e spesso relazionate tra loro, è difficile definire un sistema di equazioni che portino, in un tempo ragionevole, ad una soluzione. Al contrario, le soluzioni disponibili sono fondate sull'individuazione di più soluzioni. Pertanto, è importante individuare il risolutore appropriato per un particolare problema, che, in questo caso, è euristico. Quando si vuole tradurre in programmazione visiva questo processo, sono sempre necessari due elementi essenziali:

- Una funzione obiettivo che corrisponde al valore in uscita che abbiamo intenzione di ottimizzare;
- Una o più variabili che hanno almeno un impatto parziale sulla risultante funzione obiettivo. Le variabili sono solitamente definite all'interno di un dominio avente un valore massimo e un minimo.

Ad esempio, un problema tipico di ottimizzazione è rappresentato dall'individuazione del punto lungo una curva che sia il più vicino a un punto esterno A. In questo caso, la funzione obiettivo è la $d(t)$ che descrive tutte le possibili distanze dei punti della curva dal punto esterno A. L'unica variabile è rappresentata dal valore di t che varia da 0 a 1, cioè da un estremo all'altro della curva. La soluzione ottimale è rappresentata da quel valore di t che minimizza la funzione $d(t)$ (Basso 2018).

Gli algoritmi genetici prendono a prestito termini utilizzati nelle scienze naturali per descrivere processi di ottimizzazione di natura iterativa (Vierlinger 2013). L'insieme di

parametri di input di un problema con i loro valori prende il nome di genotipo o genoma; a questo corrisponde un fenotipo, cioè un aspetto connesso all'output in dipendenza dai dati di base. L'obiettivo o "pressione evolutiva" (*fitness*) rappresenta una certa qualità che si vuole raggiungere facendo variare il genoma, cioè i valori dei parametri di input, selezionando ad ogni iterazione-generazione gli individui che meglio rispondono alle richieste e incrociandone ulteriormente i valori. La rispondenza di solito è espressa tramite un'operazione di ricerca del massimo, del minimo o di raggiungimento di un certo valore. Il procedimento prosegue fino a quanto non vengono raggiunti certe condizioni: tempo massimo, numero di generazioni, limite di convergenza ecc.

La procedura di un algoritmo generativo si articola solitamente nelle seguenti fasi (Vierlinger 2013):

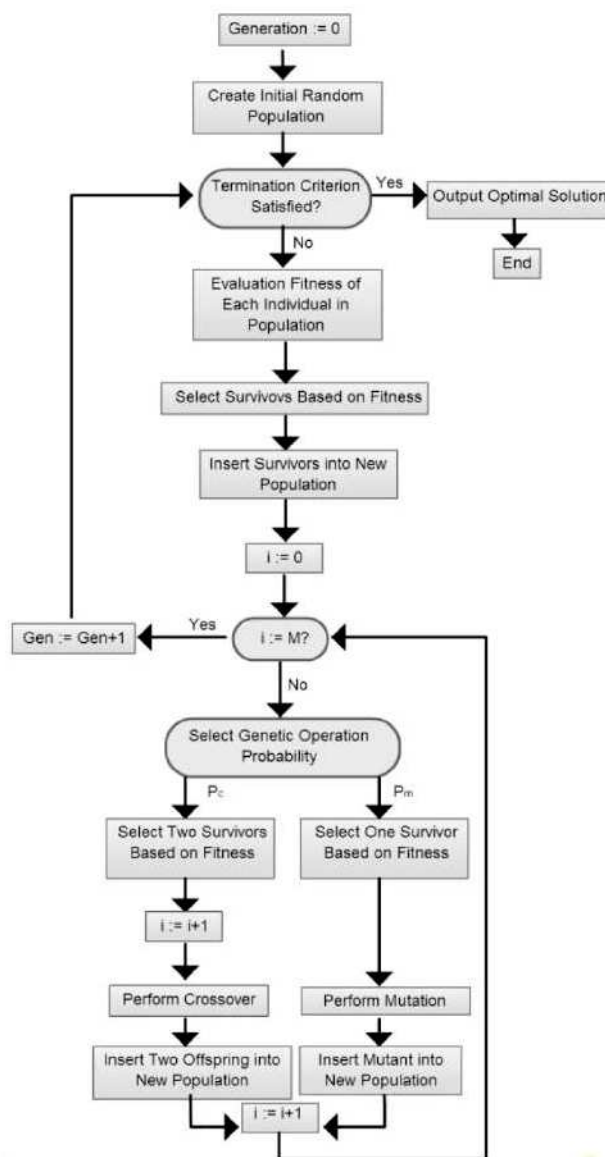


Figura 10.7: Grafo della procedura di ottimizzazione genetica (da Gerbo e Salikis 2014)

1. costruzione in modo casuale della popolazione iniziale;
2. valutazione dell'adattamento della popolazione
3. iterazione delle seguenti sotto fasi
 - (a) Selezione degli individui più adatti per la riproduzione;
 - (b) Incrocio e mutazione dei nuovi individui
 - (c) Nuova valutazione dell'adattamento
 - (d) Rimpiazzo di una parte della popolazione con i nuovi individui figli più adatti

La funzione di adattamento ha di solito un'unica variabile da controllare ma esistono strategie per combinare più funzioni di adattamento in una unica, oppure è possibile ricorrere ad algoritmi di ottimizzazione in grado di poter gestire la variazione contemporanea di più parametri (Fig. 10.7).

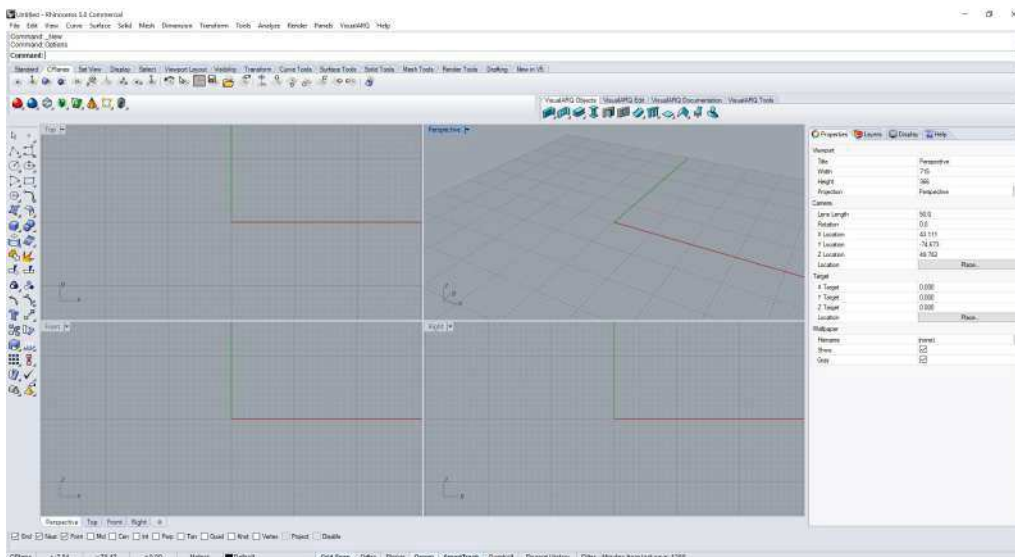


Figura 10.8: Interfaccia grafica di Rhinoceros Software (da Basso 2018)

10.2 Software per la programmazione parametrica

10.2.1 Rhinoceros

Rhinoceros, conosciuto anche con l'abbreviativo di Rhino, è uno dei più famosi software commerciali per la creazione di modelli tridimensionali sviluppato da Robert McNeel & Associates. Le geometrie di Rhinoceros sono basate sulle NURBS (acronimo per *Non Uniform Rational Basis-Spline*), che consistono nella rappresentazione di curve e superfici a forma libera in computer grafica, al contrario delle applicazioni basate su mesh poligonali. Particolarmente apprezzato per la bontà grafica dei risultati, per le possibilità di analisi dei modelli e l'esportazione nei formati tipici delle macchine CNC, è utilizzato principalmente come modellatore di tipo tradizionale: il designer utilizza le geometrie base e gli

strumenti offerti dal programma che, opportunamente manipolati e combinati, possono adattarsi alle diverse esigenze di progettazione. Una delle caratteristiche aggiuntive di Rhino, consiste nell'aver accesso per gli utenti più evoluti, allo *scripting* (con l'utilizzo di Rhinoscript), ovvero la generazione di geometrie tridimensionali attraverso l'inserimento di codici di programmazione e la conseguente possibilità di poter apportare modifiche "dall'interno" del software. Al momento della scrittura di questa tesi, la versione più aggiornata disponibile è la versione 6.0 (Fig. 10.8).

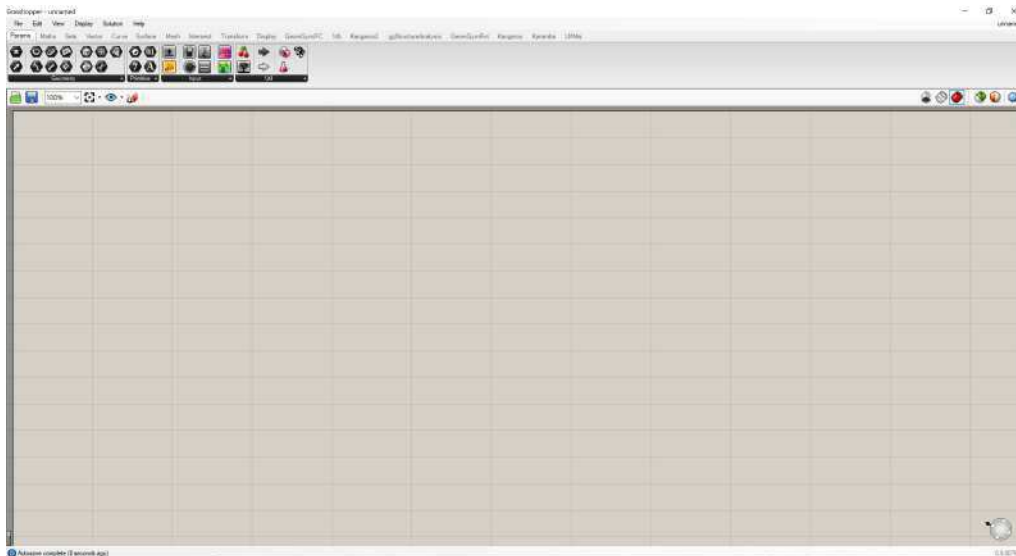


Figura 10.9: Interfaccia grafica o *canvas* di Grasshopper (Basso 2018)

10.2.2 Grasshopper

Grasshopper è un plug-in per Rhinoceros sviluppato nel 2007 da D. Rutten presso Robert McNeel & Associates. Si tratta di un editor per lo sviluppo di algoritmi grafici che non richiede alcuna conoscenza di programmazione né la scrittura in uno specifico linguaggio, poiché fa uso del *visual programming language* (VPL). L'obiettivo di Grasshopper è di supportare i progettisti nella costruzione di algoritmi generativi, nonostante si tratti di uno strumento multidisciplinare in grado di gestire le geometrie 3D e tutti i meccanismi relativi al settore delle costruzioni (Tedeschi 2014). L'interfaccia del software si presenta come una seconda finestra che viene avviata direttamente dall'interno di Rhinoceros; essa è costituita da un piano di lavoro, denominato *canvas*, dove è possibile trascinare i vari nodi presenti in una barra degli strumenti divisa a seconda della categoria dei componenti. Questi possono essere presi e trascinati dalla barra, oppure richiamati tramite il loro nome digitando il testo direttamente sulla *canvas*, per poi essere collegati tra di loro tramite dei fili. Quando gli algoritmi diventano particolarmente complessi, è possibile incorrere in una visualizzazione chiamata "spaghetti bowl" dove il gran numero di fili viene paragonato a un piatto di spaghetti. Essendo un plugin di Rhinoceros, Grasshopper costituisce un metodo alternativo per disegnare e importare volumi e forme all'interno di Rhinoceros, ma al tempo stesso anche per visualizzare in tempo reale il risultato ottenuto dalla sequenza di nodi. La gestione dei dati all'interno di questo ambiente avviene

attraverso l'uso di liste (*list*) e alberi (*trees*): per effettuare delle operazioni geometriche tra di essi, è necessario assicurarsi che gli elenchi e la struttura dei dati siano coerenti tra di loro, operazione che può diventare particolarmente laboriosa per gli algoritmi più complessi. Uno dei maggiori punti di forza di Grasshopper è sicuramente la comunità che lo supporta, raggruppata nel forum ufficiale. Sono poi presenti una serie di plug-in che si affiancano oppure si integrano con Grasshopper, per ampliare e migliorare ulteriormente l'esperienza fornita dal software (Fig. 10.9). Ad esempio alcuni di questi sono proprio quelli utilizzati in questa capitolo: Karamba, Galapagos e Octopus.

10.2.3 Karamba

Karamba3D (chiamato anche semplicemente Karamba) è un plug-in commerciale per Grasshopper, utilizzato come strumento per l'ingegneria strutturale parametrica che fornisce un'analisi accurata di travi spaziali, telai e superfici². Sviluppato da Clemens Presinger in collaborazione con Bollinger+Grohmann Engineers, esso è stato pensato su misura per essere eseguito all'interno dell'ambiente di Grasshoppers, infatti permette uno scambio fluido di informazioni tra la modellazione algoritmica e il calcolo strutturale. Questo infatti permette un rapido e veloce calcolo dei modelli sviluppati parametricamente all'interno di Grasshopper, riuscendo a stare al passo a tutte le repentine modifiche delle variabili parametriche. A fronte di questa eccezionale flessibilità, è presente una minore varietà di operazioni di calcolo strutturale disponibili, che non risulta essere (ad oggi) al pari di molti altri software di calcolo strutturale commerciali. Di conseguenza, Karamba è pensato principalmente come uno strumento di progettazione preliminare, in modo da poter essere accoppiato agli aspetti dell'ottimizzazione strutturale, permettendo in questo modo di avere un approccio più intuitivo alla progettazione strutturale.

10.2.4 Octopus e Galapagos

Octopus è anch'esso un plug-in sviluppato per l'ambiente di Grasshopper che fa uso dei principi evolutivi applicati alla modellazione parametrica e alla risoluzione dei problemi³. Permette il calcolo di diversi obiettivi contemporaneamente, producendo una gamma di soluzioni ottimali che siano di compromesso tra gli estremi di ciascun obiettivo. È stato sviluppato da R. Vierlinger presso l'Università di Vienna in collaborazione con lo studio Bollinger+Grohmann Engineers. Essendo entrambi solutori evolutivi, Octopus e Galapagos presentano molte caratteristiche in comune (Fig. 10.10).

La maggiore differenza tra i due software però è che il secondo applica la logica evolutiva a uno specifico problema e perciò risulta capace di ottimizzare un singolo valore. D'altro canto Octopus rappresenta la scelta più conveniente quando si parla di ottimizzazione multi-obiettivo, perché permette che più parametri di *fitness* siano rappresentati in un sistema di coordinate tridimensionale dove i vari risultati possono essere rappresentati lungo gli assi per poi essere anche selezionati indipendentemente dall'utente. Anche se è possibile effettuare l'ottimizzazione anche di un singolo parametro, in questi casi è preferibile utilizzare Galapagos per la sua maggiore semplicità.

²Reperibile su <https://www.karamba3d.com/>

³Reperibile su <https://www.food4rhino.com/app/octopus>



Figura 10.10: Interfaccia grafica di Galapagos (da Basso 2018)

10.3 Riproposizione analitica di alcuni tipi di case pompeiane

Per sperimentare la flessibilità applicativa e le frontiere di utilizzo dello studio tipologico proposto in precedenza, si è provato ad ottenere due tipi di case pompeiane, rispettivamente il tipo più semplice “testudinato” e il più complesso canonico, tramite la modellazione parametrica. Nel seguito si vedrà la procedura necessaria a definire il primo dei due tipi.

La costruzione tramite l’algoritmo di Grasshopper avviene in maniera molto simile a quella utilizzata secondo gli strumenti del disegno tradizionale: come punto di partenza viene fornito un punto all’origine degli assi $O\ 0; 0; 0$ e appartenente al piano XY . Ogni *domus* è caratterizzata dalla dimensione del fronte, indicata in questo caso dal valore metrico variabile, che definisce di conseguenza anche tutti i rapporti geometrici tra gli ambienti interni. Per la modellazione di questa particolare tipologia di casa si è preferito utilizzare il metodo dei rapporti matematici tra le varie parti e non la costruzione geometrica (Fig. 10.11).

Definiti quindi i due parametri indipendenti del modello — il punto di origine O e la dimensione del fronte m — sono stati individuati tutti gli altri punti notevoli della pianta, che delimitano gli ambienti delle *tabernae*, dell’atrio e dei cubicoli. Così come il secondo punto della facciata viene individuato traslando il punto di origine O lungo l’asse X di un valore m , allo stesso modo tutti gli altri punti sono assegnando di volta in volta al vettore di spostamento un coefficiente pari a $\sqrt{2}$, $(\sqrt{2} - 1)$, $(\sqrt{2} - 2)$ a seconda delle esigenze. In questa maniera il modello della *domus* risulta essere completamente indipendente dalle misure “reali” di un edificio specifico, facendo in modo che qualsiasi essi siano, rimangano rispettati i rapporti dimensionali tra le varie parti. Naturalmente i singoli modelli ottenuti fanno riferimento alle dimensioni fisiche che sono state rilevate sui resti archeologici. Dalla classificazione tipologica delle *domus* di Pompei è stato ottenuto un file Excel con le misure m del fronte attribuibili alla casa testudinata, con valori che variano dai 5 m fino a poco oltre i 14 m. Tali valori organizzati in maniera tabellare all’interno del file esterno, vengono collegati all’ambiente di Grasshopper tramite un componente

specifico che rende possibile l'importazione del formato .csv; ad ogni riga della tabella è poi assegnato in maniera automatica un indice univoco che permette, tramite uno *slider*, di selezionare i valori metrici del fronte della *domus* singolarmente. Al variare del valore sullo *slider* cambia anche il valore assegnato a m che si ripercuote in maniera automatica anche sulle dimensioni complessive del modello della *domus*. I valori possono essere disposti in maniera casuale o ordinati, a seconda di come vengono trascritti all'interno del file Excel. In questo modo, con un unico algoritmo, è possibile ricostruire l'intero insieme di *domus* appartenenti a quell'impianto semplicemente modificando il valore dello *slider*. I punti individuati vengono quindi uniti da linee che indicano gli assi dei muri, e queste possono essere estruse per creare le superfici dei muri secondo una misura ipotetica. Pur trattandosi di una indicazione di massima, la dimensione verticale permette anche di individuare l'ingombro dei manufatti oltre i quali deve essere impostata la copertura archeologica.



Figura 10.11: Fasi della definizione del modello-tipo parametrico della casa testudinata (da Basso 2018)

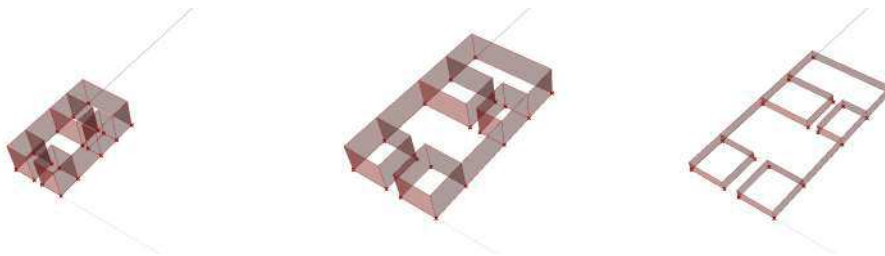


Figura 10.12: Variazioni parametriche consentite all'altezza del modello e alla dimensione del fronte (da Basso 2018)

L'intero processo di modellazione avviene all'interno dell'ambiente di Grasshopper, mentre la visualizzazione del modello è permessa da Rhinoceros, dove però non è concessa la selezione di nessuno degli elementi modellati. Questi infatti esistono solo "virtualmente" e temporaneamente all'interno di quest'ultimo, dovendo subire un processo di "baking" (lett. "cottura") all'interno dell'ambiente di Rhino per poter essere finalmente modificabili attraverso gli strumenti di modellazione convenzionali. Ciò potrebbe essere uno svantaggio, posto che gli oggetti non risultano essere più reattivi alle modificazioni dei parametri all'interno dell'algoritmo, d'altra parte rappresenta la malleabilità intrinseca del modello, permettendo di ottenere tutte le configurazioni rese possibili combinando i parametri. In effetti con un processo di modellazione tradizionale, come può avvenire all'interno di Software come AutoCAD, Sketchup o lo stesso Rhinoceros, si sarebbe ottenuto un unico modello di casa, con conseguente dispendio di tempo per apportare modifiche sostanziali.

Con la combinazione di Grasshopper e Rhinoceros invece, quello che si ottiene è un processo, che può essere riutilizzato un numero virtualmente infinito di volte e capace di restituire come output tutti i modelli che rispondono a quel preciso schema di regole generative (Fig. 10.12).

La modellazione di un'abitazione canonica ha invece richiesto l'implementazione nell'algoritmo della procedura di costruzione geometrica.

10.4 Preprogettazione della copertura

Lo studio delle esigenze (Cap. 5) permette di indirizzare la concezione degli elementi geometrici della struttura così da contribuire a creare il microclima di conservazione più adatto per i materiali archeologici o a seguire l'allineamento dei ruderi. Significativamente si tratta di aspetti molto semplici, come l'altezza da terra della copertura, il posizionamento dei pilastri in pianta, la presenza e la dimensione dello sporto di gronda a cui si somma la gestione di aspetti più strettamente a carattere strutturale secondo il seguente elenco:

- I punti di appoggio, nel numero di quattro, indipendenti tra loro e selezionabili dall'utente;
- L'altezza complessiva all'intradosso della struttura;
- L'inclinazione del manto di copertura;
- Il numero di elementi componenti la copertura nelle due dimensioni;
- Il numero di elementi costituenti le travi reticolari di sostegno;
- Le dimensioni dello sbalzo della copertura;
- La distanza delle singole pareti perimetrali dai loro sostegni;
- L'altezza da terra delle singole pareti.

Il procedimento che sarà sviluppato nelle prossime pagine copre l'intero processo progettuale, dalla definizione delle geometrie alle verifiche strutturali, all'interno di uno stesso algoritmo visuale secondo lo schema di Fig. 10.13.

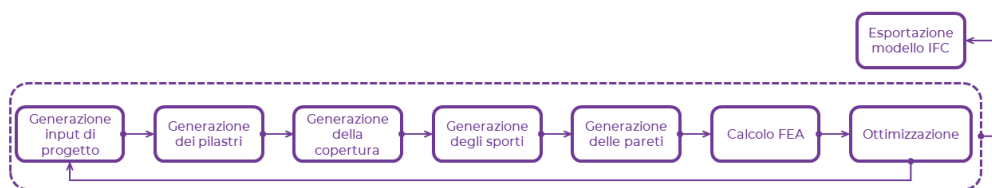


Figura 10.13: Rappresentazione schematica del flusso di dati per la definizione del modello (da Basso 2018)

10.4.1 Componenti parametrici del progetto

I fattori individuati vengono poi tradotti in elementi geometrici, visualizzabili nel modello tridimensionale, le cui caratteristiche sono fisse ma variabili in modo parametrico. Trat-

tandosi di dati iniziali, assimilabili all'input del programma, sono raggruppati all'inizio dell'algoritmo. L'assegnazione del valore dei parametri avviene di solito mediante cursori (*slider*) su una scala graduata i cui estremi — numerici assoluti o relativi tipo 0-1 — sono decisi dall'utente.

Altezza. Attraverso uno *slider* è possibile modificare la misura dell'altezza della copertura all'intradosso. I valori massimo e minimo possono essere definiti anch'essi in maniera autonoma dall'utente qualora quello già impostato non si rivelasse adatto;

Punti di appoggio Sono presenti quattro componenti contenitore a cui è possibile assegnare dei punti precedentemente individuati all'interno del viewport di Rhinoceros. È possibile variare la posizione dei punti senza il bisogno di ricollegarli ogni volta;

Elementi costituenti la copertura. Due *slider*, uno per ciascuna direzione principale, è possibile modificare il numero di travi costituenti la copertura;

Inclinazione della copertura. Ciascuno *slider* in questa sezione va a modificare la coordinata verticale dei punti posti ai quattro vertici del manto del tetto;

Aste delle reticolari. Ogni trave della copertura è definita da una trave reticolare, il cui numero di elementi interni di supporto può essere manipolato attraverso questi due *slider*, uno per ciascuna delle due direzioni;

Dimensione dello sporto. Lo sbalzo lungo ogni lato della struttura può essere variato tramite *slider* in maniera da coprire, qualora fosse necessario, un'area superiore rispetto a quella interna individuata dai pilastri;

Posizione delle pareti. Attraverso dei componenti è possibile determinare la distanza delle singole pareti dai pilastri di supporto. In questo caso il valore varia da 0 a 1 perché definito in funzione dello sbalzo del tetto, con 0 avente le pareti in linea coi pilastri e 1 all'estremità esterna dello sbalzo;

Altezza delle pareti. Con questi componenti invece si può modificare la posizione dei vertici inferiori della parete in funzione della lunghezza dei pilastri. Al valore di 0 corrisponde una parete estesa fino a terra, mentre con un valore vicino a 1 l'estremità superiore sarà molto vicino al tetto.

Dimensioni. Si tratta di componenti non modificabili ma che una volta attivati permettono di visualizzare all'interno del viewport di Rhinoceros le distanze reciproche dei quattro pilastri di appoggio.

Pilastri. Si tratta dei semplici segmenti che uniscono tra loro i punti base selezionati dall'utente ai quattro punti ottenuti traslando quest'ultimi lungo la direzione dell'asse verticale secondo un vettore a modulo variabile, scelto dallo stesso utente. I pilastri risultano essere in realtà definiti da due segmenti distinti, poiché è necessario inserire il punto di aggancio con il pannello di parete (Fig. 10.14a).

Copertura. Questo modulo viene utilizzato per definire la ripartizione lungo due direzioni del numero di elementi di sostegno della copertura, oltre che il numero di collegamenti tra i correnti delle travi reticolari, realizzati sia tramite aste verticali e diagonali. L'algoritmo suddivide la struttura di copertura in due strati distinti, uno superiore e uno inferiore, che però vengono costituiti tramite un procedimento molto

simile (Fig. 10.14b). I quattro punti individuati come appoggio vengono traslati verso l'alto di un vettore z uguale; questi poi vengono utilizzati come vertici per individuare una superficie che viene successivamente suddivisa lungo le direttrici u e v da cui viene ottenuta una griglia di punti utilizzata per definire una mesh passante per tali punti. I vertici dei rettangoli così individuati vengono scomposti in segmenti e raggruppati a formare lo strato di travi inferiore. Una procedura simile viene utilizzata anche per le travi dello strato superiore, con l'unica differenza che questa volta la superficie di riferimento è individuata da quattro punti a cui è possibile far variare in maniera indipendente tra loro la coordinata z .

Una volta definiti questi due reticoli sui due strati, viene imposta a ciascun elemento che compone la lista dello strato interno e dello strato esterno un'ulteriore suddivisione in segmenti; i punti individuati da tale operazione vengono poi selezionati secondo un pattern alternato per i correnti superiori e inferiori, in modo che collegandoli, questi vadano a formare una polilinea a tratti inclinati che collega un corrente all'altro, prima di venire esplosa in ulteriori segmenti. Questo procedimento è applicato a entrambe le direzioni in cui sono disposte le travi. Successivamente i punti che individuano tale polilinea sono collegati anche in direzione verticale dallo strato inferiore a quello superiore. In questo modo sono individuati sia i due correnti (superiore e inferiore) sia gli elementi di collegamento che variano a seconda del numero di suddivisioni imposte all'interno della porzione di trave. Questo tipo di procedimento permette di suddividere in maniera regolare una superficie, senza il bisogno di posizionare in maniera autonoma gli elementi di sostegno (Fig. 10.14b).

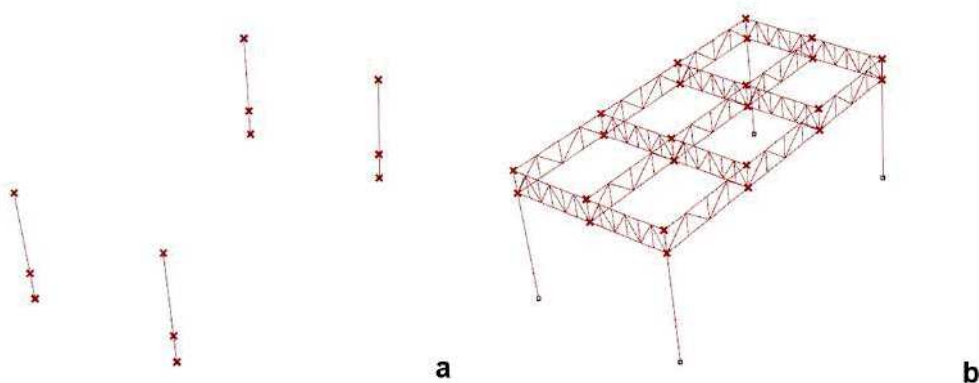


Figura 10.14: Definizione degli assi degli elementi componenti i pilastri (a) e le travi della copertura (b; da Basso 2018)

Sporto di gronda La sezione di codice per la definizione dello sporto della copertura presenta un blocco iniziale che richiama la superficie della copertura e i quattro punti generatori di quest'ultima. Vengono definiti, per ogni sporto, due punti che vengono fatti traslare lungo la direzione perpendicolare alla direzione dello sporto stesso; questi rappresenteranno, una volta uniti, lo spigolo più esterno dello sbalzo. Per ogni lato poi, i segmenti individuati dai due punti interni e dai due più esterni vengono suddivisi ulteriormente nello stesso numero di travi che compongono la copertura lungo quella direzione.

I punti così individuati vengono poi uniti a coppie in modo da poter realizzare le travi a sostegno dello sporto. Mentre l'algoritmo è completo per quello superiore, nel caso dello sporto inferiore vengono individuati altri due punti per ogni lato, compreso tra l'estremo più interno dello sporto e quello più esterno. I due punti sono tra loro indipendenti e vengono utilizzati per la trave di supporto della parete esterna della copertura (Fig. 10.15a), che risulterà poi essere appesa proprio a questi elementi. Sempre in questa fase, le travi di bordo esterne allo sporto, sia superiormente che inferiormente, vengono suddivise in segmenti con la stessa tecnica utilizzata per le travi reticolari interne, in modo poi da poter definire i montanti e i diagonali. I quattro algoritmi definiti per i quattro sporti vengono quindi utilizzati anche per entrambi gli strati, dove gli unici elementi che cambiano sono le superfici di riferimento e i loro vertici.

Pareti Le pareti della struttura sono definite a partire da una superficie verticale che segue la stessa ripartizione della copertura principale. Mentre due punti superiori della parete sono già stati individuati con la procedura vista nel paragrafo precedente, per i vertici inferiori vengono utilizzate le coordinate x e y dei punti superiori, mentre per la quota z , questa viene estratta andando a scomporre un punto che si muove lungo il pilastro. Definite tutte e tre le coordinate del punto, questo viene ricomposto per essere poi collegato tramite un segmento a quello individuato sul pilastro, andando a formare il sostegno inferiore della parete (Fig. 10.15b). Individuata la parete e le sue ripartizioni, con una procedura molto simile a quella già vista per la trave reticolare, vengono definiti i diagonali all'interno del pannello, ottenuti unendo con una polilinea i punti delle travi superiore e inferiore della parete secondo uno schema alternato. Anche in questo caso, un unico algoritmo ripetuto gli altri tre lati, permette definire le quattro pareti perimetrali della struttura. Operazione particolarmente delicata in questa fase, è assegnare ad ogni parete il giusto componente capace di individuare la posizione delle estremità verticali della parete, in modo che questa possa anche assumere anche una posizione diversa da quelle parallela alla linea di colmo del tetto.

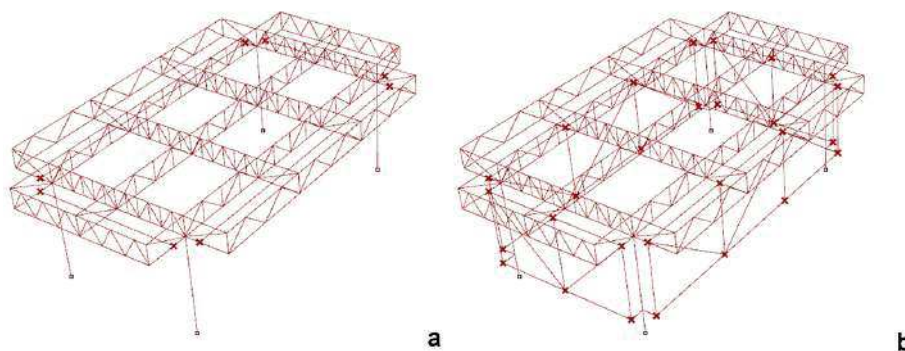


Figura 10.15: Definizione degli assi baricentrici degli elementi delle pareti (a) e dello sporto di copertura (b; da Basso 2018)

Angolari. In questa particolare porzione di script vengono definiti gli angoli sia della copertura che delle pareti perimetrali. Mentre per le pareti è stato sufficiente individuare l'intersezione delle rette che definiscono i correnti orizzontali delle pareti

consecutive e unire tali punti con i vertici superiori e inferiori delle pareti stesse, l'operazione si è rivelata più complessa per quelli della copertura. Trattandosi infatti di una superficie che può assumere varie configurazioni, dalla superficie piana fino a una superficie rigata a doppia curvatura (paraboloide iperbolico), si è rivelato necessario individuare non una semplice intersezione tra linee, ma tra superfici, che seguissero l'andamento della parte superiore della copertura (Fig. 10.16a). I quattro punti così individuati sono stati poi collegati tramite segmenti ai corrispondenti vertici degli sporti, in modo da creare degli elementi ad L che andassero a completare il manto di copertura.

Elementi di irrigidimento. Per tutta la struttura costituente lo sporto della copertura, sono stati individuati una serie di elementi aventi funzione di irrigidimento al fine di migliorarne il comportamento strutturale. Lo script si suddivide a seconda che si vada ad intervenire sulle travi di bordo, sugli angolari o sullo sporto: si tratta per tutti e tre i casi di individuare i punti agli estremi della copertura dello strato inferiore e di unirli con quelli dello strato superiore (Fig. 10.16b). Questi elementi di supporto seguono l'andamento delle travi reticolari già utilizzate nella parte interna della copertura.

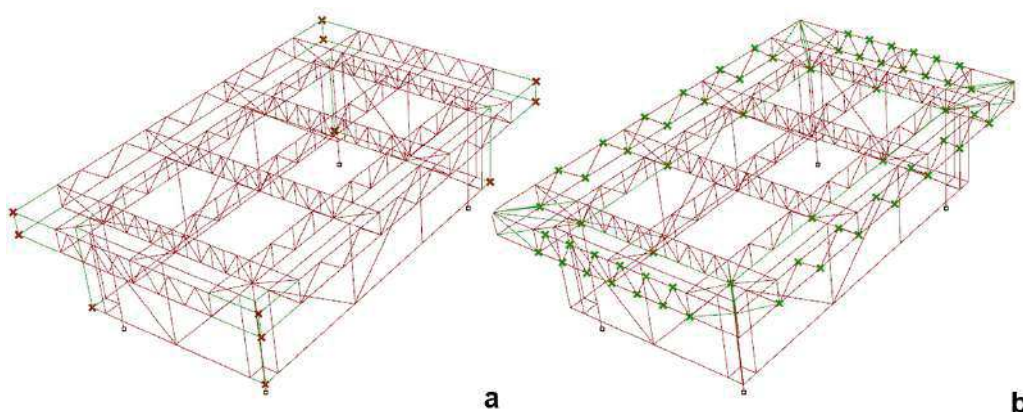


Figura 10.16: Completamento degli angoli dello sporto di gronda (a) e definizione degli ulteriori irrigidimenti (b; da Basso 2018)

Gli output ottenuti dai singoli moduli sono stati poi raggruppati all'interno di un pannello di facile lettura, dove è possibile selezionare i singoli elementi costituenti la copertura, a partire dai pilastri, passando per i singoli strati della copertura e i montanti della reticolare, gli sporti fino ad arrivare alle pareti. La scelta di raggruppare tutti gli elementi in un unico gruppo è stata dettata in primo luogo per poter attivare e disattivare i singoli elementi o addirittura intere categorie al fine di poter comporre la copertura a proprio piacimento: in questo modo è quindi possibile rimuovere alcuni elementi di irrigidimento qualora fossero ridondanti, oppure montare la struttura con solamente una, due o tre pareti. In secondo luogo poi, la suddivisione è dettata dal fatto che per poter eseguire le valutazioni statiche, è necessario definire materiali e sezioni per i singoli elementi. In questo modo è possibile definire sezioni distinte per gli elementi di copertura, per i pilastri, le pareti e gli elementi di irrigidimento. Virtualmente, ogni categoria potrebbe venire dotata della propria sezione e del proprio materiale ma data l'inefficienza realizzativa della soluzione,

durante l'assemblaggio del modello per il calcolo sono stati effettuati dei raggruppamenti in base alle esigenze costruttive.



Figura 10.17: Possibili modelli ottenibili mediante la modellazione parametrica: a) strutture a telaio; b) strutture reticolari spaziali; c) strutture tipo gridshell (da Basso 2018)

I parametri descritti sono state dapprima sperimentati su modelli isolati, rapportati alla ricostruzione parametrica della casa testudinata per poter individuare le strategie più efficaci e stabili a livello di algoritmo (Fig. 10.17). In seguito sono stati tradotti in una forma unitaria, del tipo a graticcio di travi piane, la più semplice e adattabile alle diverse situazione, come mostrato nelle precedenti (Fig. 10.14; 10.15; 10.16) presentate a corredo del testo. L'algoritmo complessivo, sinteticamente visualizzato è riportato in (Fig. 10.18).

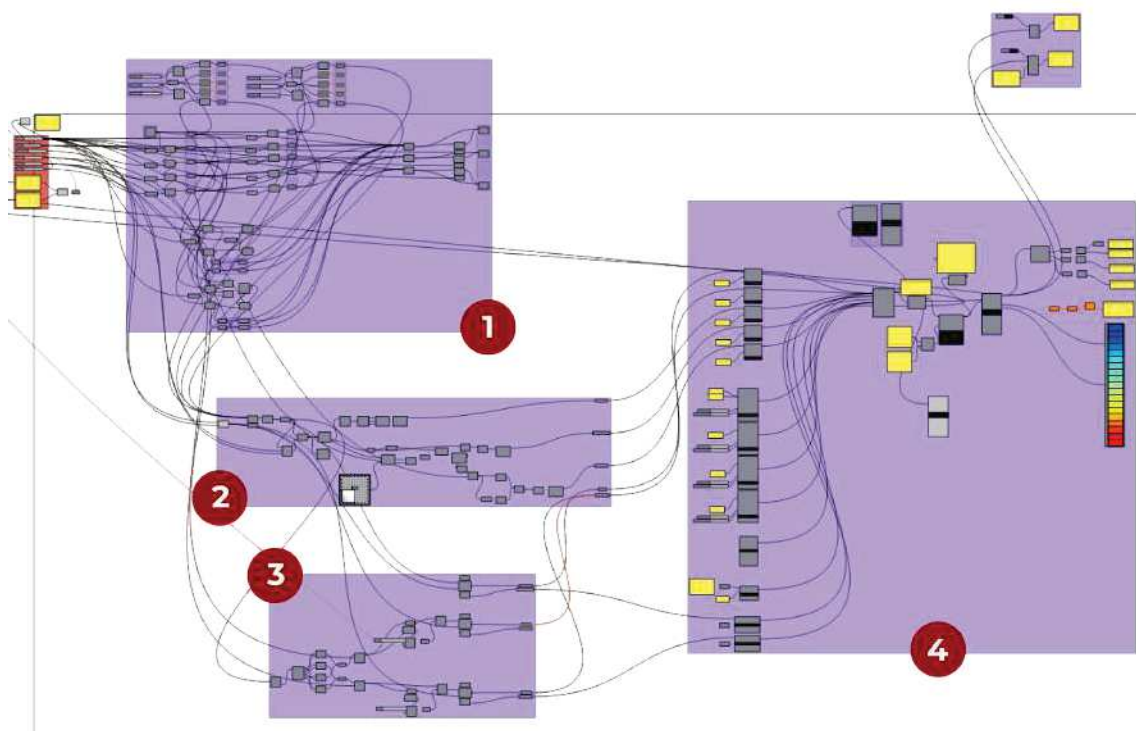


Figura 10.18: Rappresentazione grafica dell'algoritmo in Grasshopper. Si individuano: 1) la definizione della geometria della domus; 2) istruzioni per la creazione della maglia di copertura; 3) aggiunta e modifica della posizione dei punti di appoggio; 4) analisi strutturale e verifiche (da Basso 2018)

10.4.2 Analisi agli elementi finiti e ottimizzazione

Per valutare l'efficienza statica della soluzione geometrica è necessario eseguire l'analisi strutturale su modelli-tipo di dimensioni standardizzate. La modellazione algoritmica permette di poter integrare anche questo aspetto ricorrendo ad un ulteriore plugin di GH, Karamba, che implementa elementi lineari e bidimensionali nonché i sistemi di vincolo. L'analisi agli elementi finiti consentita dal plugin avviene ancora una in modalità interattiva, registrando le variazioni di sollecitazioni e deformazioni in tempo reale rispetto alle modifiche alla struttura apportate dall'utente. Ciò permette di poter eseguire anche studi di ottimizzazione dei parametri di input secondo specifiche funzioni analitiche delle componenti di deformazione e sollecitazione (Fig. 10.19).

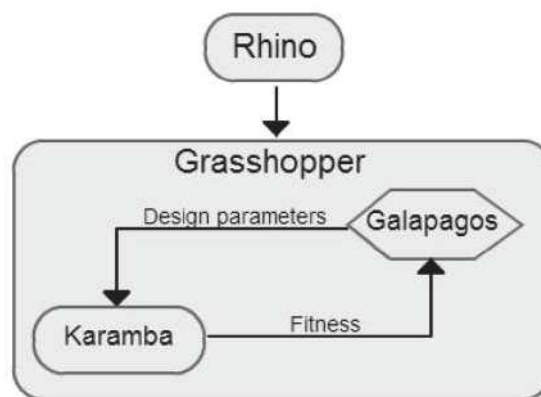


Figura 10.19: Rapporto tra i plugin di analisi strutturale e ottimizzazione (da Gerbo e Salikis 2014)

Il modello creato tramite algoritmo risulta definito mediante gli assi baricentrici degli elementi cui sono associate le sezioni da profilario (Fig. 10.20). Si tratta pertanto di una schematizzazione molto simile a quella utilizzata dai programmi di calcolo strutturale, il cosiddetto “modello analitico”, che tuttavia richiede alcuni passaggi a livello di codice per poter essere effettivamente utilizzata dall'analisi come di seguito illustrato (Fig. 10.20):

1. Definizione degli elementi: in questa porzione dell'algoritmo vengono trasformati i segmenti che compongono la struttura in elementi *beam* effettivamente calcolabili. Ogni componente $|LineToBeam|$ richiede come input delle geometrie in formato di segmento che possono essere associate anche a una etichetta identificativa. Si è scelto di frazionare la struttura in varie categorie: pilastri, correnti superiori e inferiori, reticolo tetto, sporto, pareti, reticolo pareti e supporto pareti. In maniera del tutto simile poi vengono anche definite anche gli elementi *shell* tramite il componente $|MeshToShell|$;
2. Definizioni dei supporti: in questo caso vengono richiesti come input la posizione dei supporti e il piano su cui giacciono. È possibile definire per ciascun vincolo il grado di libertà: la traslazione la rotazione lungo le tre direzioni;
3. Definizione dei carichi: i carichi possono essere definiti come puntuali, lineari o agenti su un'area. I valori e la direzione del carico sono definiti in base al vettore ad

esso associato e a ciascuna condizione di carico può essere assegnato un numero che ne identifichi il load case;

4. Definizione del materiale: il materiale può essere definito in base a una libreria predefinita oppure tramite caratteristiche meccaniche immesse dall'utente stesso. I materiali predefiniti presenti in Karamba sono acciaio, cemento, legno e alluminio. Anche in questo caso, elementi etichettati in maniera differente possono essere dotati di un diverso materiale tra loro;
5. Definizione delle sezioni: per i vari elementi che tramite il componente *|LineToBeam|* sono stati etichettati in maniera diversa tramite il loro beam id, è ora possibile definire la sezione in base a un formulario già precaricato all'interno del software. Sono presenti database appartenenti all'Europa, Regno Unito, Stati Uniti, Russia, Germania, Cina, Giappone, Canada e India. Qualora la sezione desiderata non fosse presente, è sempre possibile costruirla in maniera autonoma tramite il componente *|CroSec|*, che permette immettere le caratteristiche geometriche definite dall'utente.



Figura 10.20: Viste della struttura una volta implementate le sezioni strutturali (da Basso 2018)

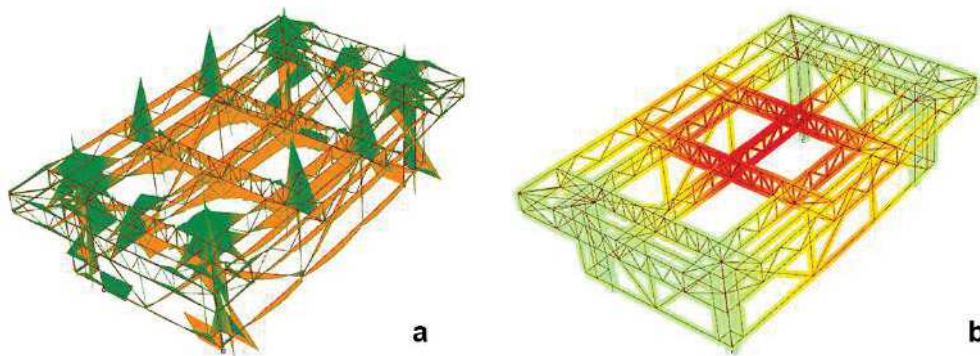


Figura 10.21: Analisi strutturale del modello: a) momenti; b) deformazioni (rosso = massima deformazione; verde = minima deformazione; da Basso 2018)

Definizione del modello analitico

Tutti i componenti elencati nel paragrafo precedente vengono quindi collegati al componente *|Assemble Model|* che gestisce le varie relazioni tra gli elementi prima di essere trasmessi al solutore vero e proprio. I risultati ottenuti dal calcolo sono principalmente due: la freccia massima e l'energia complessiva del sistema. La freccia massima viene

espressa come la lunghezza di un vettore, quindi espressa in valore assoluto; viene riferita alla deformazione massima raggiunta non dal singolo elemento, ma da uno dei nodi della struttura. Il componente responsabile dell'analisi strutturale viene poi direttamente al *|ModelView|* che permette di visualizzare la struttura non più come semplice modello analitico, ma anche con le specifiche sezioni; andando ad attivare i parametri dall'interfaccia è anche possibile poi visualizzare le condizioni di vincolo, i carichi, le reazioni e i grafici delle sollecitazioni, così come i nomi di nodi ed elementi (Fig. 10.21). Successivamente, i componenti *|BeamView|* e *|ShellView|* consentono di vedere le sezioni, le deformate e lo stress assiale dei singoli componenti, accompagnandoli con una scala colorata visualizzabile direttamente all'interno del viewport di Rhinoceros.

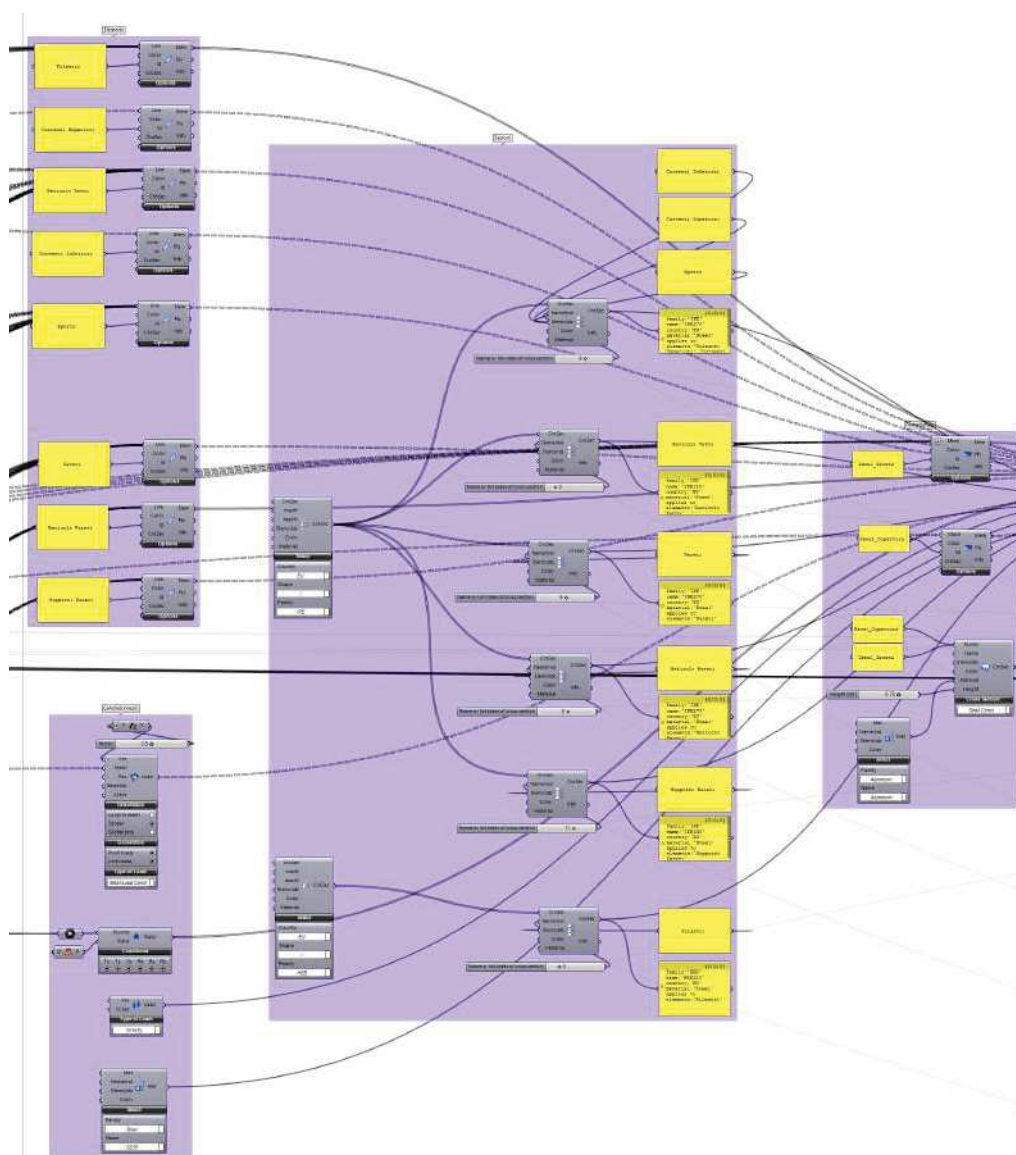


Figura 10.22: Vista della sezione dell'algoritmo che permette la definizione del modello analitico per il calcolo strutturale (da Basso 2018)

La configurazione appena descritta può essere considerata quella base, ma di fatto si tratta di una scelta dell'utente di quali componenti utilizzare per analizzare con maggior dettaglio la struttura; a questo punto l'analisi è già stata completata, quindi l'aggiunta o la rimozione di elementi dopo questo punto non ha alcun effetto sul flusso di informazioni che va a definire la struttura del modello (Fig. 10.22). Altri componenti che possono essere utilizzati in questo frangente sono *|React|*, *|NodeDisp|* e *|S-Forces|*: il primo permette di ottenere le reazioni dei supporti e i momenti, il secondo genera una lista dei nodi della struttura con la corrispettiva deviazione, mentre *|S-Forces|* restituisce una lista delle forze e momenti presenti in corrispondenza delle diverse sezioni. In aggiunta all'analisi FEM sono state previste poi due diverse routine per permettere una maggiore comprensione del modello, riguardanti entrambi la freccia massima. L'individuazione del **nodo con maggior freccia** avviene attraverso il componente *|NodeDisp|* che compila una lista di tutte le deformazioni di ogni singolo nodo, che questa parte di algoritmo poi riordina in modo da trovare il valore massimo. È poi possibile attivare una visualizzazione direttamente sul modello per indicare la posizione di tale nodo e il valore di deformazione da esso raggiunto. Segue poi l'individuazione della **deformazione massima**: questa parte di algoritmo serve ad individuare la luce minore tra due punti di appoggio, che poi con la formula $f=1/300$ permette di individuare il valore massimo consentito di deformazione della struttura. Il valore così ottenuto viene quindi confrontato con quello risultante dall'analisi con Karamba: qualora quest'ultimo risulti minore, un pannello restituirà il messaggio "OK!", mentre in caso contrario il messaggio "not OK!".

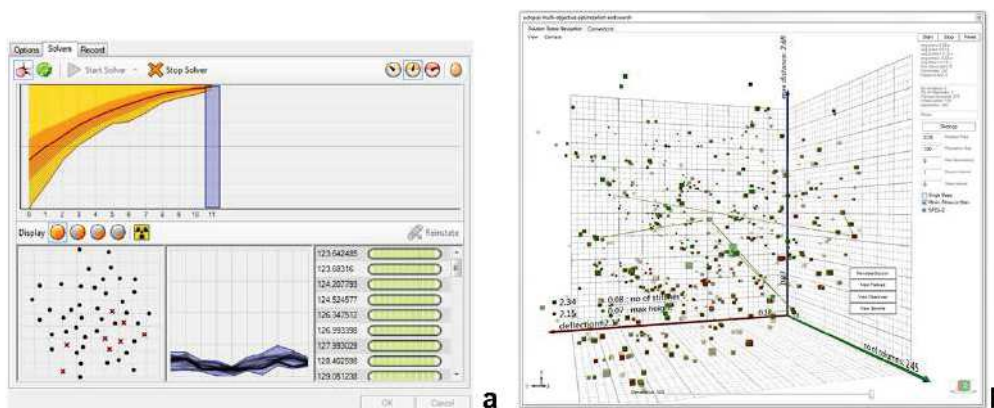


Figura 10.23: Interfaccia dei plugin di ottimizzazione: a) Galapagos; b) Octopus (da Basso 2018)

Ottimizzazione

L'ottimizzazione del progetto consiste nella scelta della configurazione e degli elementi strutturali corrispondenti esattamente o con una certa approssimazione ad una situazione ottimale rispetto a certi criteri predefiniti, come l'inflexione della struttura o il peso (Fig. 10.23). Questa operazione è possibile manualmente, implementando nel software diverse soluzioni che vengono in mente all'operatore; analiticamente, individuando la funzione che esprime il criterio di ottimizzazione e procedendo mediante gli strumenti dell'analisi per determinare, se possibile, il punto di massimo/minimo e poi implementando nel

software gli elementi ottimizzati separatamente; infine mediante algoritmi genetici, i quali permettono di trattare le combinazioni di parametri (geni) quali individui di una "popolazione" da cui dedurre via via popolazioni ("generazioni") diverse e sempre più vicine, in teoria, alla situazione ottimale (Gerbo e Salikis 2014).

Nel caso specifico si possono far variare le sezione degli elementi, la spaziatura e la suddivisione delle travi reticolari nelle due direzioni per un totale di 10 geni e di una ventina di variabili per ciascuno. È possibile sostituire ai singoli elementi da far variare (geni) una funzione che li combina mediante un parametro che ne regola l'importanza (Fig. 10.24). L'evoluzione avviene secondo una funzione (*fitness function*) che contiene l'obiettivo del problema che di solito è la minimizzazione dell'inflexione della struttura e del suo peso. Trattandosi di due richieste sostanzialmente opposte (una struttura più leggera è anche più deformabile) è previsto l'inserimento di un moltiplicatore in modo da poter enfatizzare a seconda uno dei due parametri. Ogni processo di ottimizzazione genera più di 800 combinazioni, che vengono suddivise per 100 generazioni dotate ciascuna di una popolazione di 80 configurazioni diverse.

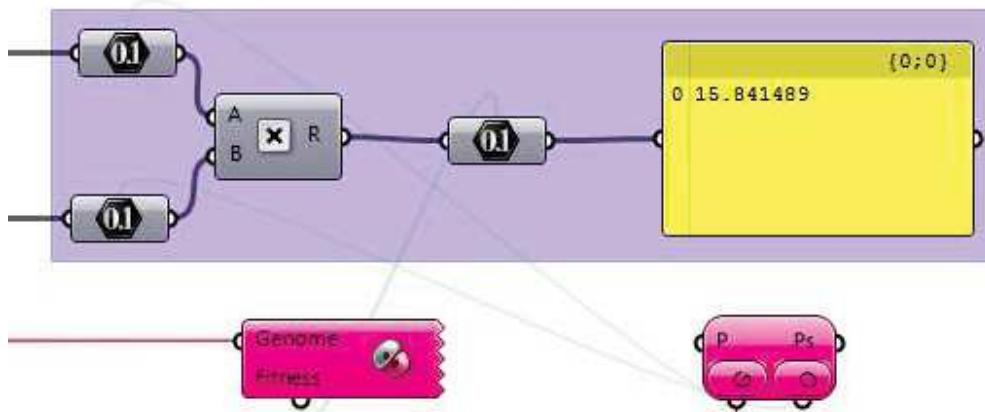


Figura 10.24: Stralcio della sezione del codice che esegue l'analisi di ottimizzazione multiparametrica (da Basso 2018)

L'algoritmo genetico genera all'inizio un insieme di numeri casuali rispetto ai geni che si è deciso di variare, ne valuta la rispondenza alla situazione ottimale e trattiene solo una piccola percentuale della popolazione originale mentre il resto viene fatto "evolvere" nella generazione successiva permutando la combinazione dei geni. Il processo di rigenerazione si interrompe quando l'algoritmo non registra miglioramento nella popolazione per 40 iterazioni.

I componenti disponibili in GH per l'ottimizzazione sono chiamati Galapagos e Octopus. Il primo esegue una ottimizzazione iterativa di una funzione con un solo termine da ottimizzare; il secondo invece è in grado di agire su più parametri contemporaneamente confrontando la qualità delle soluzioni ottenute mediante un criterio paretiano; per il funzionamento specifico e le caratteristiche dei due plugin si rimanda a Vierlinger (2013).

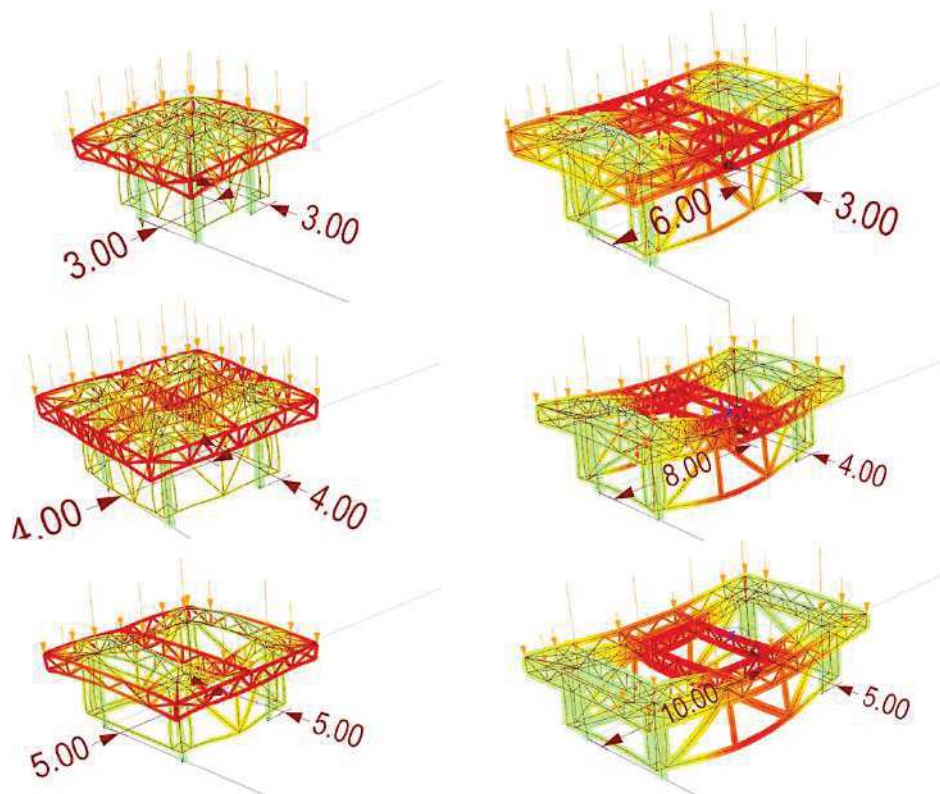


Figura 10.25: Deformate allo SLE dei prototipi strutturali (da Basso 2018)

10.4.3 Analisi strutturale

Dopo aver definito il modello della struttura e il materiale utilizzato per la sua realizzazione, si è proceduto con le simulazioni di prove di carico sulla struttura per verificarne il comportamento strutturale. Tali prove sono state effettuate su dei moduli quadrati (3x3 m; 4x4 m; 5x5 m) e rettangolari (3x6 m; 4x8 m; 5x10 m) fino al raggiungimento dello Stato Limite di Esercizio (SLE) individuato attraverso la freccia massima dell'elemento maggiormente deformato (Fig. 10.25). Tale valore dovrà risultare inferiore a $f = 1/d$, dove l rappresenta la distanza minima tra due appoggi e d è un coefficiente di sicurezza utilizzato per il materiale pari a 300. Le analisi sono state effettuate all'interno dell'ambiente di Grasshopper con l'ausilio del plugin per il calcolo strutturale Karamba3D. La soluzione proposta prevede l'intera struttura realizzata in profilati IPE in GFRP, eccezione fatta per i pilastri che fanno invece uso di profili HEB.

Le strutture sono state caricate con il peso proprio a cui è stato aggiunto un carico uniformemente distribuito di partenza in copertura pari a $0,5 \text{ kN/m}^2$, incrementato di $0,5 \text{ kN/m}^2$ per ogni step di carico successivo fino al raggiungimento del limite SLE per la struttura. Prima di procedere con gli incrementi di carico, le singole strutture sono state ottimizzate tramite il solutore evolutivo Octopus (cfr. *supra*) con l'intento di ottenere la migliore configurazione – intervenendo sul numero di elementi e sulla tipologia di sezioni – che minimizzasse il valore di freccia massima e di massa complessiva della struttura. Per i moduli utilizzati nelle prove sono state inoltre previste un'altezza all'intradosso di 3 m,

un'altezza delle travi reticolari di 0,7 m e la profondità dello sporto pari a 1,5 m. Data la particolarità del materiale, non presente all'interno delle librerie predefinite di Karamba3D, è stato necessario definirle manualmente, tramite il componente `|MatProps|`, applicando la trasformazione prevista per modellare in un elemento tipo trave un materiale che è in realtà ortotropo (Bank 2006).

Verifica degli elementi

A completamento dello studio effettuato sul modello, sono state effettuate anche le verifiche di resistenza a trazione e compressione su parte degli elementi della copertura, rispettivamente molto semplice e particolarmente complessa da eseguire. Le verifiche di compressione, interagenti con quelle di stabilità locale dei profilati, sono tra le più stringenti per i materiali pultrusi.

L'implementazione della verifica è stata dettata dal voler dimostrare la possibilità della modellazione algoritmica, così da coprire l'intero processo che va dalla definizione del modello geometrico alla verifica allo SLU. La possibilità di scegliere autonomamente le caratteristiche del materiale, assieme alla capacità di definire in maniera completamente autonoma le formule necessarie alla verifica può essere, una volta definito, riproposto per ciascun elemento della copertura, così come anche per progetti futuri che facciano uso dello stesso materiale. La normativa di riferimento utilizzata in questo frangente è la Clarke (*EUROCOMP 1996*) specifica per i materiali compositi.

Per procedere con la verifica è stato necessario individuare i parametri specifici all'interno dell'algoritmo, esplicitandoli nella procedura. Anzitutto è stato utilizzato il componente `|DisassembleCrossSection|` per recuperare le aree di tutte le singole tipologie di sezioni utilizzate nel modello. Seguendo poi la stessa suddivisione sono stati recuperate anche le sollecitazioni presenti sui singoli elementi beam attraverso il componente `|BeamForces|`, organizzandole in una lista decrescente. Nel nostro caso si è scelto di concentrarsi solamente sulle verifiche a trazione e compressione degli elementi in copertura, individuati all'interno del modello con la denominazione di "correnti inferiori", "correnti superiori" e "sporto".

Verifica a trazione

Per la verifica a trazione è previsto che il valore di tensione in ogni sezione soddisfi la seguente relazione

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

Dove $N_{t,Rd}$ rappresenta la sollecitazione a trazione di progetto che è calcolata con la formula:

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_{L,t,k}}{\gamma_M}$$

Dove A è l'area della sezione, $f_{L,t,k}$ la resistenza caratteristica a trazione in direzione longitudinale, γ_M il coefficiente di sicurezza qui posto pari a 2. La verifica risulta soddisfatta per tutti gli elementi.

Verifica a compressione - globale

È necessario calcolare la tensione critica da moltiplicare poi per la sezione del profilo. Si utilizza la:

$$\sigma_{cr,o} = \pi^2 \frac{E_x J}{b^2}$$

Dove E_x è il modulo di elasticità longitudinale a trazione, J il momento d'inerzia secondario e b la lunghezza della trave più sollecitata.

Verifica a compressione - Instabilità locale dell'anima

Risulta in questo caso:

$$\sigma_{cr,w} = k\pi^2 \frac{\sqrt{D_x D_y}}{h^2 t}$$

in cui h è l'altezza della sezione, t lo spessore e i valori k , D_x , D_y esprimono le tensioni di instabilità nelle due direzioni della sezione dell'elemento determinabili rispettivamente come:

$$D_x = \frac{E_x t^3}{12(1 - \nu_{xy}\nu_{yx})}; D_y = \frac{E_y t^3}{12(1 - \nu_{xy}\nu_{yx})}; k = \frac{2(1 + H_0)}{\sqrt{D_x D_y}}$$

in cui E_x e E_y rappresentano il modulo di elasticità longitudinale a trazione del materiale, t lo spessore, $\nu_{xy} = 0,33$ e $\nu_{yx} = 0,11$ rappresentano il modulo di Poisson nelle due direzioni. H_0 è determinato dalla formula

$$H_0 = 2D_0 + \frac{D_{xy} + D_{yx}}{2}$$

a loro volta risulta:

$$D_{xy} = \nu_{yx} D_x; D_{yx} = \nu_{xy} D_y; D_0 = D_{xy} + 2D'$$

e finalmente $D' = Gt^3/12$. In rapporto alle proprietà del materiale illustrate al Cap.6 le verifiche risultano soddisfatte.

Verifica a compressione - Instabilità locale dell'ala

Anche in questo caso si procede con il calcolo di una tensione critica pari a:

$$\sigma_{cr,f} = \pi^2 \frac{D_x \left(\frac{b}{a}\right)^2 + \left(12 \frac{D'}{\pi^2}\right)}{t b^2}$$

Dove a è la semilarghezza dell'ala, b la lunghezza della trave più sollecitata, t lo spessore dell'ala, D_x e D' sono quelli determinati in precedenza.

Ottenuta la tensione critica come il minimo tra le precedentemente individuate si procede alla determinazione dello sforzo di compressione massimo:

$$N_{c,Rd} = \frac{\min \sigma_{cr,o}; \sigma_{cr,w}; \sigma_{cr,f} A}{\gamma_M} \geq N_{c,Sd}$$

10.5 Osservazioni finali

Il capitolo introduce ad un particolare tipo di modellazione solida, per via algoritmica parametrica, che consente di definire gli oggetti tramite la combinazione dei valori di un certo numero di parametri, variabili entro i rispettivi domini, corrispondenti a un sistema di regole definite dall'utente invece di procedere per via additiva secondo il paradigma del *trial-and-error*. Tale struttura, orientata alla processo e non al prodotto, permette inoltre di applicare algoritmi di ottimizzazione per individuare la combinazione dei parametri che soddisfa ad un criterio di una certa funzione analitica definita dall'utente che descrive una caratteristica della struttura, come la minima deformazione, una certa esposizione al sole ecc. L'ottimizzazione strutturale è possibile grazie all'integrabilità nel flusso di istruzioni anche dell'analisi per elementi finiti in cui vengono tradotti gli elementi geometrici presenti nel modello.

Mediante l'algoritmo parametrico è stato riprodotto un tipo della casa minima ad atrio pompeiana descritta al Cap. 8, variabile secondo le misure rilevate in sito, che può servire da base sia per la progettazione di coperture sia per studi di vulnerabilità o di ricostruzione filologica delle strutture. In seguito, sono stati individuati otto aspetti condizionanti la geometria della copertura di protezione che sono stati applicati ad un "soluzione pilota" che fa uso di una struttura reticolare spaziale realizzata in profilati pultrusi. Di fatto gli otto fattori individuati sono divenuti "gradi di libertà" lasciati all'utente nella definizione della forma finale della copertura. Della struttura risultante è stata eseguita, sempre all'interno dell'algoritmo parametrico, l'analisi agli elementi finiti su sei prototipi di dimensione standard, l'ottimizzazione strutturale multiobiettivo e infine la verifica SLU secondo normativa consensuale.

Le possibilità offerte dalla modellazione algoritmica consentono di avere un potentissimo strumento per preprogettare, cioè dare la prima definizione della forma in rapporto all'architettura antica così come al complesso sistema di regole, geometriche e fisico-tecniche, cui deve soggiacere l'intervento di protezione archeologica.

Capitolo 11

La progettazione del sistema. Integrazione di soluzioni esistenti

La proposta di un sistema costruttivo non può trascurare l'aspetto della sua effettiva produzione e della domanda cui può andare incontro una volta commercializzato: solo una sua buona diffusione e una domanda costante permettono di contenere i costi e di ottimizzare i processi, avendo oltre tutto disponibilità di materiale per riparazioni e sostituzioni. Poiché non è al momento pensabile una tale situazione virtuosa, il progetto è animato dalla volontà di utilizzare materiali edilizi già disponibili sul mercato così da limitare i costi, ricombinandoli tuttavia in modo creativo e nel rispetto degli indirizzi espressi al cap. 5.

Un sistema costruttivo presuppone che i suoi elementi siano tutti appositamente pensati per interfacciarsi tra loro e consentire il più ampio numero di impieghi. Tuttavia è impossibile pensare che un sistema chiuso possa rispondere a tutte le situazioni archeologiche e non solo, che lo faccia in modo sempre creativo e innovativo. Pertanto si è deciso di partire dall'impiego di soluzioni esistenti, anche non pensate per un'applicazione archeologica, studiandone l'adattamento al diverso contesto e le possibili modalità di aggregazione e provvedendo a realizzare le necessarie interfacce in modo tale da garantire la funzionalità e la coerenza interna rispetto al concept.

11.1 Il *concept*

Il concept del progetto nasce dalla volontà di ricreare l'ambiente confinato originale della struttura archeologica, ossia di ripristinarne l'*involucro*. Esso si compone di uno strato esterno di rivestimento esterno, il tegumento (Fig. 11.1a) che protegge quanto si trova al di sotto e crea la vera e propria barriera fisica tra il dentro e il fuori; di uno strato di rivestimento interno su cui si concentrano gli sguardi del visitatore e serve a ripristinare la suggestione dello spazio originale (Fig. 11.1c); infine dello strato intermedio di supporto, la struttura che normalmente è celata alla vista e solo in alcuni casi può rivelarsi all'osservatore (Fig. 11.1b).

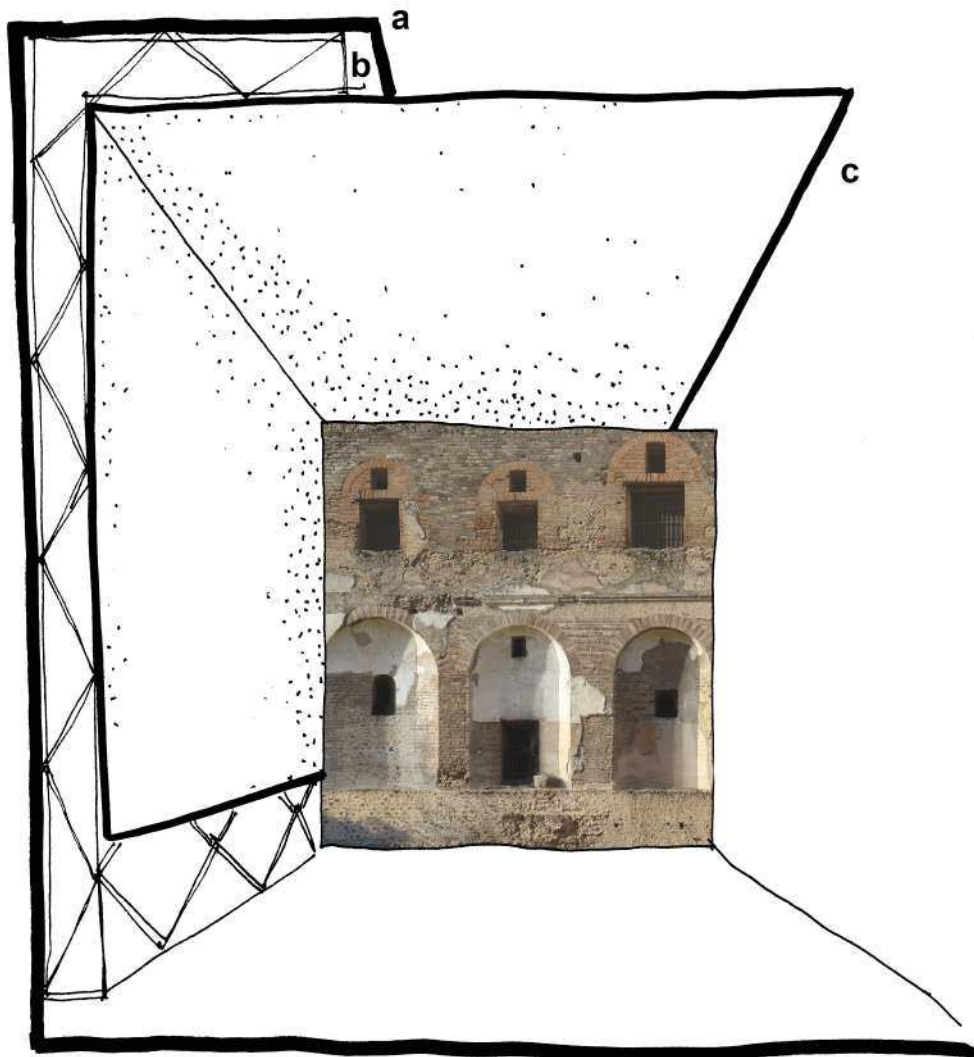


Figura 11.1: Concept della struttura di copertura come involucro: a) rivestimento esterno; b) strato strutturale portante; c) rivestimento interno

La traduzione del concept in una struttura effettiva si deve rapportare con le particolari circostanze archeologiche in cui viene inserita. In particolare la traduzione è possibile come una delle possibili combinazioni tra sviluppo planimetrico (esteso, puntuale) e altimetrico (fosse di *spolio*, murature di spiccato, murature in elevato) e la strategia prescelta per le nuove fondazioni (superficiali, profonde o in appoggio; lineari o puntiformi) e in merito all'allineamento dell'involucro rispetto alla muratura archeologica (in asse, filo esterno, filo interno). Le combinazioni sono sinteticamente rappresentate in Figg. 11.2, 11.3, 11.4, dove sono indicate in verde gli elementi di fondazione, in rosso gli elementi di collegamento (travi e cordoli), in giallo l'involucro collaborante da un punto di vista strutturale e in grigio l'involucro portato non collaborante. In ogni immagine passando da sinistra verso destra, variano l'altezza delle murature, dalla fossa di fondazione (assenza del muro) sino alla parete in altezza per quasi un piano fuori terra, il tipo di fondazione della nuova

struttura (profonda o superficiale) e l'interazione che questa può avere con la muratura archeologica.

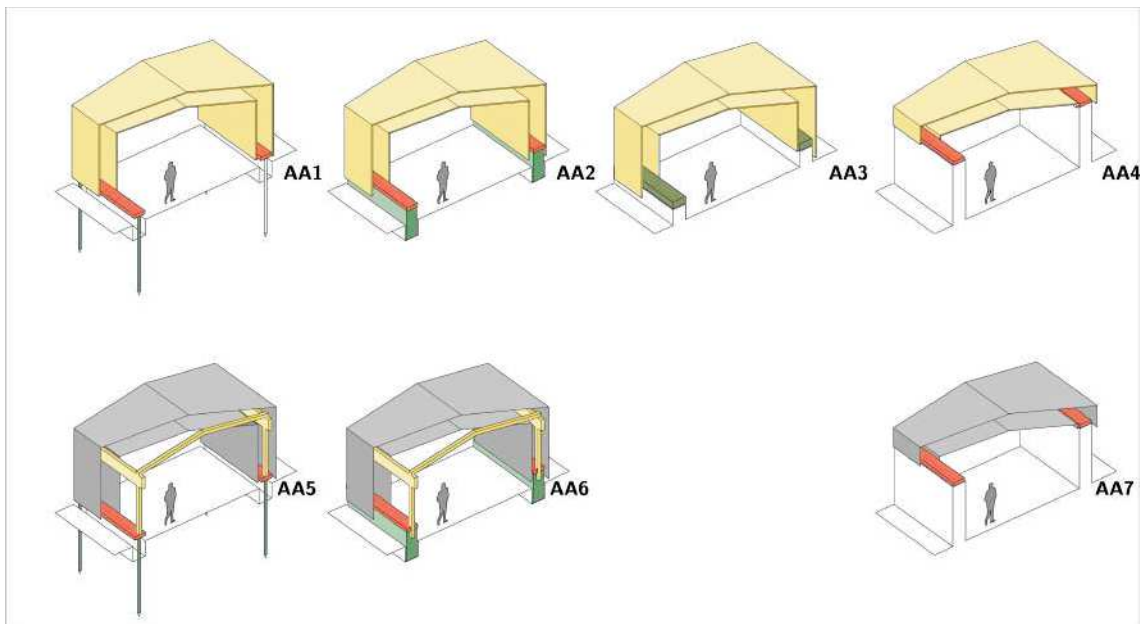


Figura 11.2: Strutture e copertura in allineamento, ($h = 2,5 \div 3,5 m$)

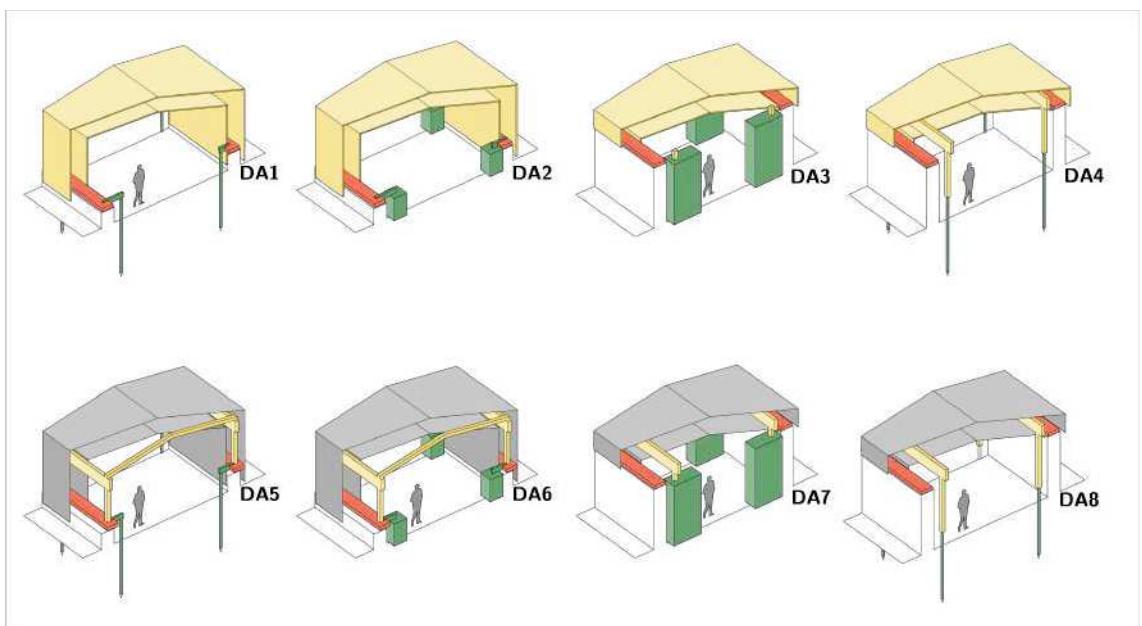


Figura 11.3: Strutture in disallineamento interno, involucro in allineamento

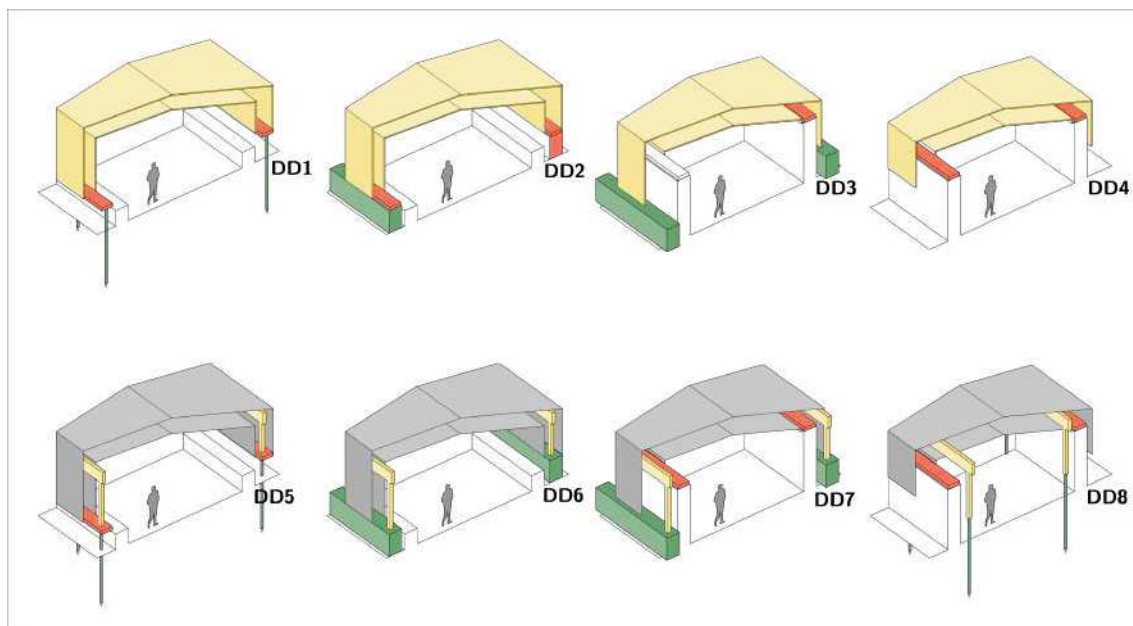


Figura 11.4: Strutture in disallineamento

In rapporto a questo abaco sintetico di possibili configurazioni — in realtà la casistica è molto più ampia se si scende al dettaglio dell'interfaccia tra muratura archeologica, fondazione nuova e struttura verticale nuova — vengono di seguito presentati e analizzati gli elementi in grado di realizzarli.

La soluzione opportuna per la sistemazione del sito e la scelta della configurazione più adatta per la nuova costruzione su uno scavo archeologico è fortemente dipendente dalla condizione di ritrovamento delle murature (Fig. 11.5) e dalla necessità di alterare il meno possibile, prima ancora dell'ambiente e la vista, la stratigrafia archeologica, che è l'elemento irriproducibile e dirimente dello scavo. Seguono i canoni di rimovibilità e bassa invasività che contraddistinguono più in generale l'intervento di restauro moderno.

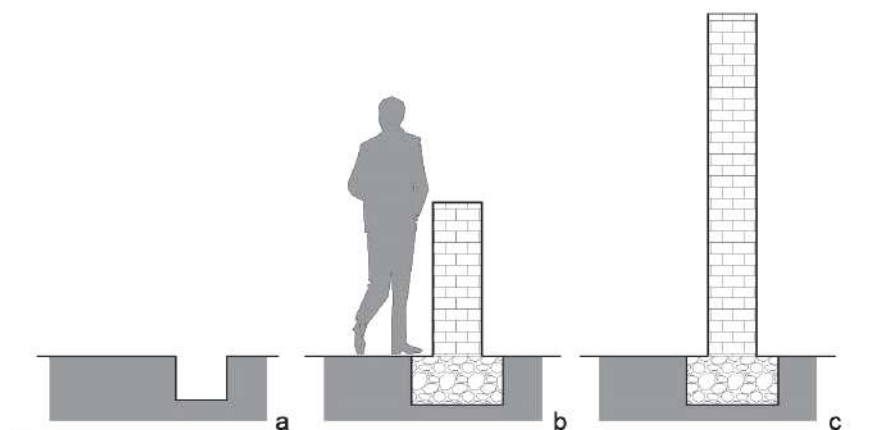


Figura 11.5: Sezioni tipologiche delle condizioni di ritrovamento delle murature archeologiche: a) fossa di spoglio; b) spicco murario ($h \leq 1,5 m$); c) lacerto di parete ad altezza di interpiano ($h = 2,5 \div 3,5 m$)

11.2 Soluzioni di progetto

11.2.1 Proposta di sistema di drenaggio

La gestione del drenaggio nell'area del sito rappresenta la condizione minima per assicurare la buona conservazione dei materiali archeologici. Il funzionamento della rete dovrebbe essere assicurato in (quasi) ogni condizione, prevedendo anche periodi di assenza di manutenzione, come regola pertanto, non è possibile fare affidamento ad impianti meccanici apposti.

Se lo strato archeologico è superficiale o poco al di sotto del piano campagna e le murature sono rinvenibili solamente come fossa di spoglio, si possono immaginare due situazioni a seconda che il terreno sia sabbioso e incoerente (Fig. 11.6a) o argilloso (Fig. 11.6b). Nel primo caso il fondo del cavo della muratura di spoglio viene regolarizzato con una liscia di malta sagomata a cunetta, al di sopra di uno strato di geotessile, così da captare e convogliare eventuale acqua libera proveniente dal perimetro dello scavo ad un pozzetto di raccolta in cui avviene il recapito alla fognatura bianca, ad un corpo idrico o ancora il sollevamento mediante pompa se il sito è più basso del piano campagna. Altrimenti la cunetta non farebbe altro che accumulare l'acqua superficiale proprio sul bordo dello scavo poiché il terreno argilloso non è in grado di assorbirla: per evitarlo il cavo di spoglio andrebbe riempito con terreno molto argilloso ben costipato così da creare una vera barriera impermeabile mentre un fosso di guardia al perimetro provvede alla captazione ad una certa distanza dal sito. Il fosso rimane nascosto dalla passerella perimetrale di avvicinamento al sito archeologico. Le due soluzioni proposte rappresentano l'ultima barriera all'acqua protezione addizionale rispetto a quella che ad esempio potrebbe essere sfuggita ai pluviali per un malfunzionamento. Il dettaglio della stratigrafia è descritto in 11.5.

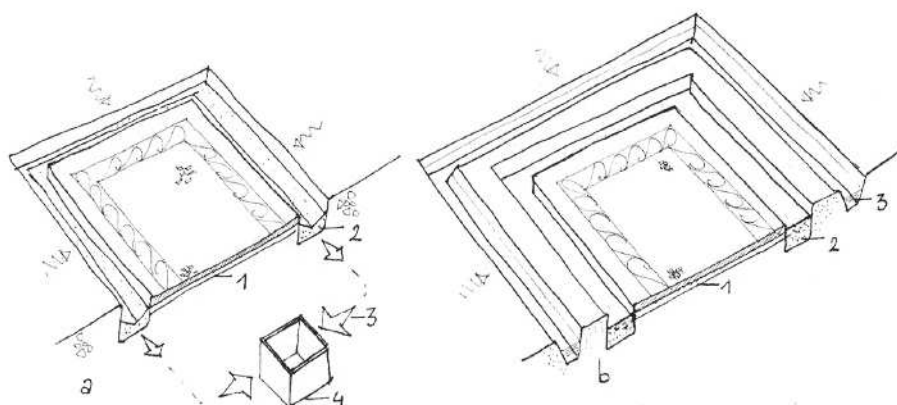


Figura 11.6: Rete di drenaggio a gravità per siti archeologici: a) in terreni sciolti; b) in terreni argillosi. Legenda: a) 1. pavimentazione archeologica da proteggere; 2. liscia in malta conformata a cunetta entro il cavo di spoglio della parete; 3. canalizzazione a gravità; 4. pozzetto di recapito finale; b) 1. pavimentazione archeologica da proteggere; 2. cecola in argilla compattata entro il cavo di spoglio della parete, 3. fosso di guardia perimetrale

Schemi analoghi, con cunetta drenante o fosso di guardia possono essere proposti anche quando le murature sporgono dal terreno, in tali casi tuttavia andrà valutata l'opportunità di alterare la stratigrafia archeologica mediante tagli e asportazioni di terreno. Se invece lo scavo si trova molto al di sotto del piano campagna si può presentare risalita dell'acqua di falda sia la traccimazione dal fronte di scavo.

11.2.2 Proposte per le fondazioni in appoggio superficiale

Se si vuole conservare intatta la stratigrafia archeologica, indipendentemente dalla consistenza delle murature rinvenute, la soluzione è rappresentata dagli elementi, plinti o intere pareti, in appoggio superficiale.

Poiché rispetto alle situazioni di impiego geotecnico non sono consentite grandi deformazioni ed è necessario offrire una certa rigidità per il supporto delle strutture verticali, nel progetto si fa uso dei pannelli di rete rigida e di barre e profili metallici per il confinamento. Tali proposte possono essere ritenute critiche per l'effetto estetico, giudicato eccessivamente "utilitario" e inadatto per il sito archeologico, e per la necessità di eseguire saldature in opera, che richiedono l'intervento di manodopera specializzata; possibili soluzioni a questi aspetti, sono l'uso di cassoni formati da pannelli di lamiera microforata di maggiore pulizia formale e l'impiego di sole connessioni bullonate o manicotti per unire le barre.

Indipendentemente dalla resa estetica finale, dal punto di vista strutturale è prevista l'alternativa tra l'uso della sola massa inerte del gabbione e la considerazione anche della deformabilità della gabbia. Nel primo caso uno spezzone di profilato, per il collegamento con il resto della struttura, viene inserito all'interno del gabbione saldandolo con una piastra metallica su cui grava il peso dell'inerte. Nell'altra soluzione, possibile solo con gabbioni cilindrici la rete è compresa tra due piastre in alto e in basso mentre delle barre filettate comprimono verticalmente il sistema; in questo caso è il coperchio a fare da collegamento con il resto della struttura verticale. Un altro fattore in grado di determinare la scelta di un tipo o di un altro può essere l'opportunità o meno, sul sito archeologico, di farsi recapitare i singoli componenti (reti, barre, inerti) sciolti e procederli all'assemblaggio oppure fare arrivare già i componenti parzialmente o totalmente assemblati (ad es. le gabbie già formate ma vuote) (Tav. 11.5).

Un ulteriore grado di libertà lasciato al progettista finale è quello di poter usare questi elementi come zavorre, puntuali o nastriformi, di una struttura leggera su elementi snelli, o proseguirli in verticale, trasformandoli in pilastri, colonne e muri "a secco" (cfr. *infra*). Nel caso di murature archeologiche sporgenti dal livello del terreno, plinti e pilastri potranno essere collocati in affiancamento a quelle laddove risulti più opportuno.

Dal punto di vista strutturale, il loro funzionamento, in prima approssimazione, può essere distinto in plinti rigidi, semirigidi e deformabili. Nella prima categoria rientrano i plinti prismatici formati da profili strutturali così che il collegamento con la struttura soprastante avvenga tramite il coperchio degli stessi; nella seconda ricadono i plinti prismatici ottenuti dalla rete zincata rigida e cilindrici di rete a maglie esagonali, in questo caso è possibile collegare il giunto con i pilastri sia al piede dell'elemento che sul coperchio. Infine, nei plinti deformabili (rete a maglie esagonali con o senza barre d'armatura di rinforzo) il collegamento può avvenire solo al piede e l'inerte si comporta semplicemente come zavorra sulla piastra di base. Nei tre casi è possibile comunque immaginare che

il plinto si comporti, ad un primo livello di analisi, come un blocco rigido in appoggio monolatero al suolo; un'analisi più raffinata potrebbe anche tenere in conto della deformabilità dell'elemento stesso, anche se la possibilità di considerarla o meno dipende anche dal tipo di condizione di vincolo si vuole ottenere al giunto tra fondazione e pilastro. Nel caso in cui le murature archeologiche siano scomparse e ne rimangano solo le tracce quali fosse cosiddette "di spoglio" nel terreno, è possibile ripristinare le stesse mediante i gabbioni (Tav. 11.5). Indipendentemente dalla modalità di formazione del gabbione, dipendente dall'effetto visivo e dal livello di resistenza che si desidera conseguire, i criteri dell'intervento sono all'incirca gli stessi. Una volta steso uno strato di geotessile nella fossa per preservarne l'interfaccia, viene eseguito un getto di calcestruzzo magro conformato a cunetta che permette di drenare l'acqua che si può accumulare al bordo dello scavo e di fissare le barre metalliche in modo da formare un corpo il più possibile monolitico; qualora non si potesse o non si volesse procedere al getto di calcestruzzo si possono posare canali prefabbricati sigillati con terra argillosa a cui vengono fissate le barre verticali. Il gabbione così ottenuto può essere interrotto all'altezza dello spiccato o entro i primi 1,5 m, offrendo l'appoggio per la struttura leggera al di sopra, oppure può essere proseguito per ottenere una vera e propria parete, sia in pezzo unico, sia sovrapponendo più livelli di gabbionata.

11.2.3 Fondazioni profonde

Le fondazioni profonde qui proposte sono tutte del tipo a palo a vite in acciaio. Nel caso di fondazioni in cavo di spoglio, le operazioni vedono anzitutto la posa dei pali in asse alla fossa di spoglio (Tav. 11.5). In seguito si dispone il geotessile e si esegue il getto di calcestruzzo a formare la cunetta di raccolta, infine si colma la fossa di materiale inerte per richiamare all'osservatore la forma e l'andamento delle murature. Tale stratigrafia è compatibile con terreni sciolti, dove il rischio può essere rappresentato dall'acqua di tracimazione per precipitazioni eccessive o (rare) risalite della falda; nei terreni coerenti e argillosi la soluzione più adeguata è invece quella di riempire la fossa con terra argillosa in modo da ottenere una "sigillatura" perimetrale dello scavo. La superficie della fossa verrebbe poi sistemata nel rispetto del progetto di musealizzazione (inerti colorati, muratura di ricostruzione, ecc.) previa stesura di un nastro di geotessile di separazione con l'argilla. Se invece sono presenti sul sito murature emergenti dal piano campagna, è necessario accertarsi della presenza e dell'entità della fondazione delle stesse in modo da collocare la vite ad una distanza tale da non intercettarle. Lo spazio tra l'asse del palo e la muratura viene coperto da un apposito elemento metallico presentato di seguito.

11.2.4 Cordoli in muratura

La soluzione è applicabile quando è presente una muratura archeologica di una certa altezza fuori terra. Questa viene completata con un certo numero di corsi di mattoni pieni di nuova fattura (ma nulla esclude che si possano adottare stampi diversi, sia per modularità che per forma) presi in malta di calce e pozzolana, più compatibile per rigidità e composizione con le murature archeologiche. Disponendo i mattoni in modo opportuno è possibile ottenere tasche di malta ad intervalli regolari in cui inserire le barre

filettate, singole o in gruppo, che servono da collegamento con la struttura soprastante. Il vincolo offerto dalle barre singole di fatto può corrispondere ad una cerniera sferica con un limitato impegno strutturale per il cordolo, che funziona più che altro da zavorra (Fig. 11.7). Per il gruppo di barre, assimilabile ad una cerniera nel piano della parete, è necessario valutare se la muratura è davvero in grado di offrire il vincolo richiesto; in prima approssimazione ciò può essere valido per murature di un certo spessore, quindi almeno da tre teste di mattoni (fig. 11.8).

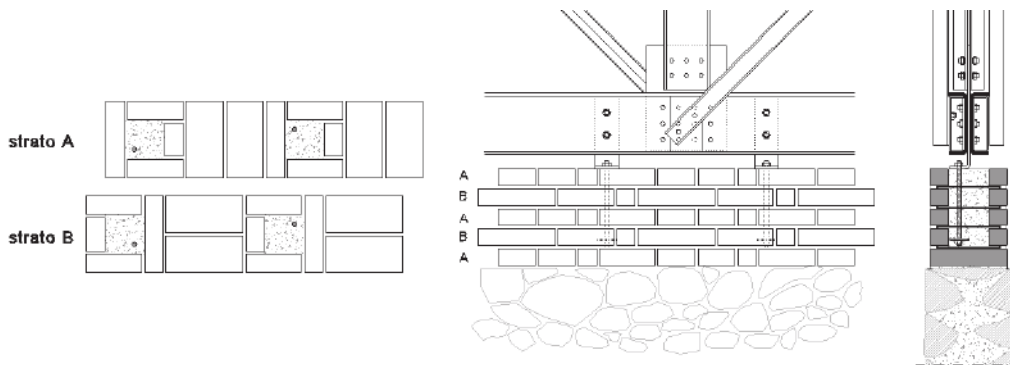


Figura 11.7: Pianta dei corsi, prospetto e sezione trasversale del cordolo in muratura con collegamenti puntuali

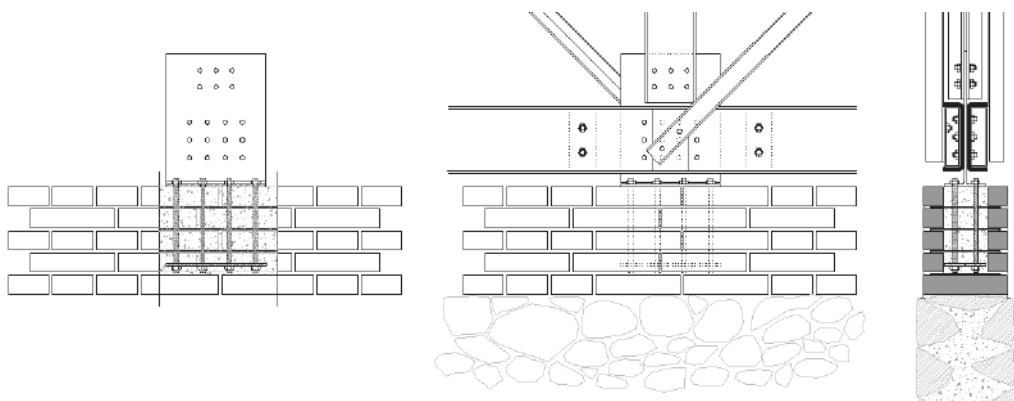


Figura 11.8: Pianta dei corsi, prospetto e sezione trasversale del cordolo in muratura con collegamenti puntuali

La funzione del cordolo è quella di garantire il collegamento sommitale delle murature, ciò che potrebbe risultare superfluo o non richiesto nel sito archeologico, tuttavia ottenere questo effetto è necessario predisporre elementi resistenti al trazione al suo interno. Questi possono essere forniti dai tralicci metallici usati per il confezionamento della muratura armata, barre d'armatura isolate o anche fasciature in FRP. I primi vanno inseriti nei letti di malta, i secondi invece applicati sulla superficie esterna del cordolo; in entrambi i casi è necessario garantire la continuità orizzontale del piano di posa e la perimetrazione completa della scatola muraria. La fasciatura in FRP, che va poi protetta mediante intonacatura, risulta più indicata rispetto alle barre perché offre la propria resistenza a trazione quando la parete è effettivamente impegnata nel fuori piano mentre le barre presentano

sempre una certa rigidità anche in direzione verticale che può andare a detrimento del comportamento finale. Le barre non devono avere sezione eccessiva (massimo Ø8 quelle sciolte) sia per non ispessire troppo i letti di malta sia per risultare adeguatamente deformabili e quindi adattarsi ai movimenti della muratura durante il sisma.

11.2.5 Collegamento tra fondazione e struttura verticale

All'estremità del palo, se la struttura prosegue in asse, o in punta al distanziatore orientabile, si può collocare il dispositivo di Fig. 11.9 che consente il centraggio in verticale della struttura qualora il palo risulti disassato rispetto alla verticale per errori durante la posa in opera. L'elemento si comporta come un giunto sferico consentendo di correggere errori lungo qualsiasi direzione orizzontale e sino a $\pm 3^\circ$ rispetto la verticale, una volta posizionata la piastra in bolla è sufficiente stringere i bulloni per mettere in forza il giunto. Chiaramente la resistenza del collegamento è limitata all'attrito sprigionato tra le superfici di acciaio a contatto, superato il quale torna a comportarsi come una cerniera.

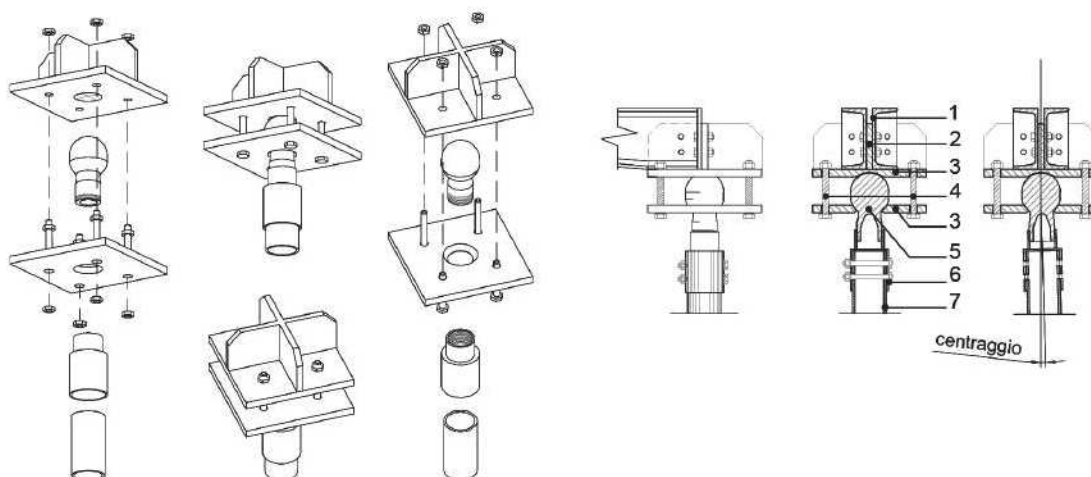


Figura 11.9: Elemento per assicurare il centraggio verticale della struttura nel caso di fondazioni su pali. Legenda: 1) mensola di collegamento (opzionale); 2) fazzoletto verticale; 3) piastra forata e rifinita al tornio; 4) bulloni di serraggio; 5) giunto sferico; 6) manicotto filettato per la regolazione in altezza con la predisposizione dei fori per il collegamento con il palo; 7) fusto del palo

Nel caso dei plinti deformabili, le barre filettate si devono ancorare alla piastra di fondo, su cui grava il peso dell'inerte. Per impedire che le teste dei bulloni vengano in contatto col terreno umido il punto di giunzione viene tenuto sollevato mediante sorta di "ponticelli" ottenuti da spezzoni di profilato o da angolari saldati ai margini di quattro fori ottenuti nella piastra. Se invece questa è relativamente sottile si potrebbe anche immaginare di ottenere i ponticelli deformandola localmente a freddo anche se poi sarebbero richiesti opportuni irrigidimenti (Fig. 11.10).

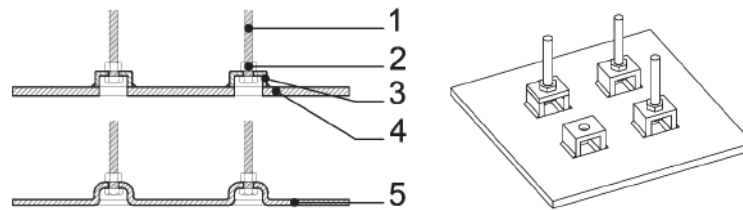


Figura 11.10: Piastra di fondo dei plinti deformabili o semirigidi per il fissaggio dei tirafondi, sezione e schema assonometrico. Legenda: 1) barra filettata; 2) controdado; 3) ponticello in acciaio inox saldato; 4) piastra rigida acciaio inox forata; 5) piastra deformabile acciaio inox sagomata a freddo

L'ancoraggio della struttura intelaiata sia alla muratura in gabbioni sia al cordolo, armato o meno, avviene mediante spezzoni di T o di L metallici, collegati con l'ala ai tirafondi uscenti dalla fondazione e con l'anima funzionante da imbottitura della trave di fondo del telaio, ottenuta per accostamento schiena-schiena di due profili a C. Collegamenti di questo tipo devono essere sempre realizzati in metallo per aumentarne la resistenza poiché le squadrette in GFRP raggiungono il collasso per delaminazione anche per carichi non molto elevati (Feroldi e Russo 2016).

11.3 Sistemi strutturali

Il peso limite degli elementi non deve superare i 25 kg, per consentirne il sollevamento a mano, mentre la loro forma e sagoma deve essere tale da poterli maneggiare agevolmente tenendoli vicino al corpo. Le caratteristiche del pultruso sono tali che un profilo a C 8x20h cm alto 2,4 m pesi 12 kg, e quindi risponde perfettamente a tali caratteristiche.

I sistemi di seguito descritti rientrano nel novero delle strutture a telaio perché ritenute più flessibili e leggere. Le strutture a pannelli, ugualmente applicabili sul sito archeologico, sono in realtà meno flessibili e la loro applicazione è già più codificata nella pratica costruttiva rispetto ai telai.

Le caratteristiche delle strutture di seguito descritte sono tali da poterle utilizzare sia per la formazione della struttura portante verticale che di quella orizzontale.

11.3.1 Proposta di un sistema tipo *stick-built*

Si tratta di un sistema che riprende sostanzialmente la tecnica costruttiva proposta dalla ditta americana Strongwell (Bank 2006) che a sua volta fa riferimento al tipico sistema a telaio *balloon frame*. Si impiegano profilati scatolari per i montanti e i diagonali e profilati a C per i traversi. Montanti e diagonali vengono uniti tramite piattine coprigiunto, che coprono il montante e i due diagonali contigui, con un bullone singolo su ciascun profilo: uno sul montante e uno su ciascun diagonale. I traversi vengono fissati al di sopra del coprigiunto, sulla faccia esterna dei montanti, mediante l'unico bullone di quest'ultimo. Eventuali diagonali nel piano ortogonale vengono fissati mediante le stesse piattine coprigiunto ma, a causa dell'ingombro dei profili il punto di incontro dei loro assi non coincide con quello del piano del reticolo di superficie (Fig. 11.11). È anche possibile irrigidire il

sistema disassando, rispetto alla maglia formata dai diagonali i traversi, così da collegare questi ultimi sui bulloni dei diagonali ed ottenere così una più stabile configurazione rettangolare. Per quanto la ditta Strongwell ne rappresenti il vasto campo di impiego e l'affidabilità il sistema sembra non risulta allineato con le indicazioni provenienti da più recenti sperimentazioni (Boscato et al. 2015; Russo et al. 2012), che sono utilizzate per la formazione del sistema successivo.

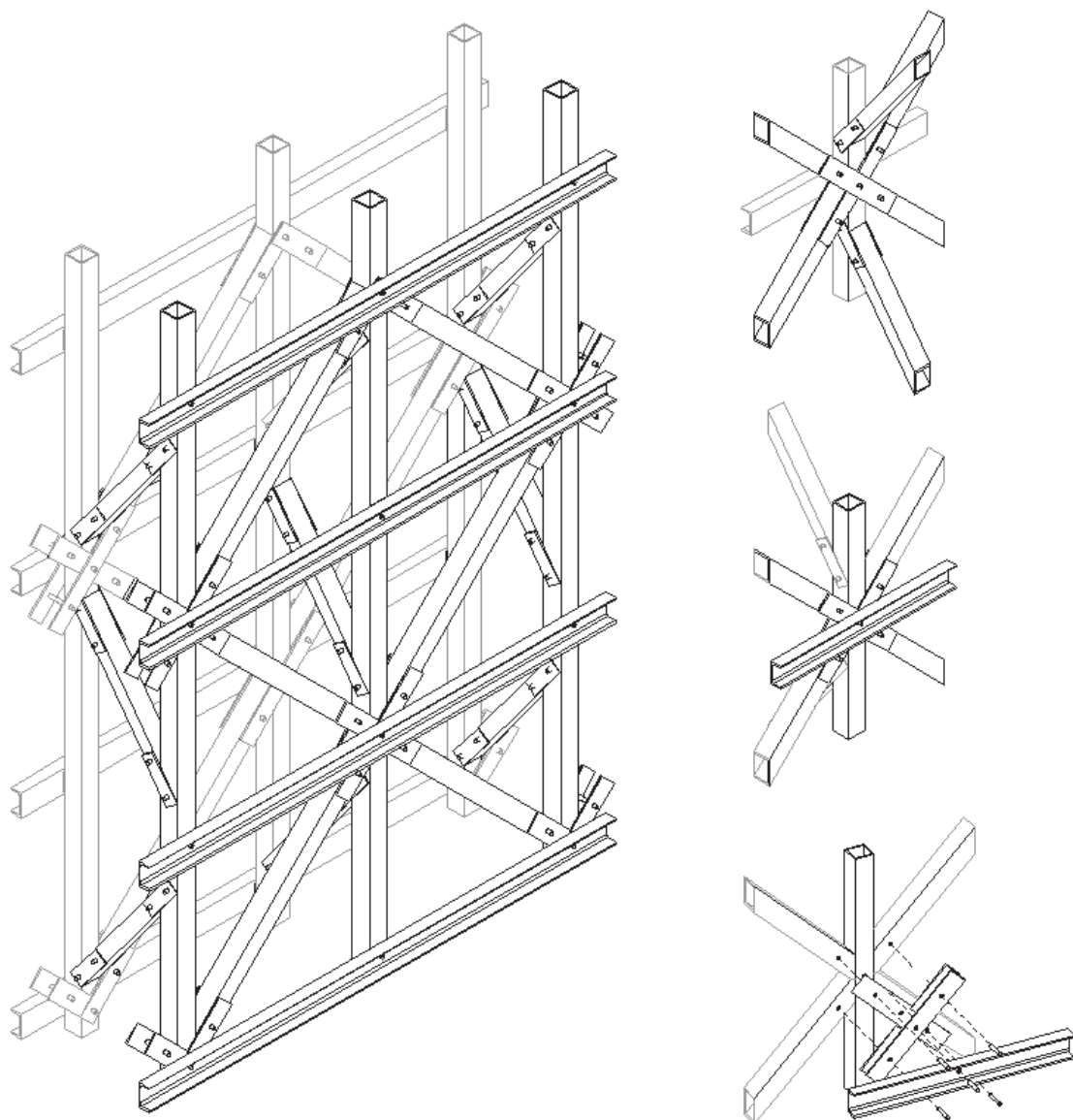


Figura 11.11: Sistema tipo *stick-built*, vista assonometrica complessiva e dettaglio dei nodi

11.3.2 Proposta di un sistema ad aste composte

Il sistema costruttivo in questo caso risulta dall'applicazione sistematica delle indicazioni di letteratura in merito alla forma delle membrature e dei collegamenti che sembra essere più adatta per le strutture in pultruso. In particolare tutti gli elementi principali sono del tipo a sezione aperta composta con imbotiture in GFRP imbullonate ad intervalli regolari e i collegamenti sono realizzati mediante grandi piatti in GFRP con bullonatura generosa e simmetriche.

L'intersezione tra gli elementi risulta pertanto sempre vincolata al dover scomporre nelle due direzioni del giunto gli elementi di collegamento; se si volessero utilizzare squadrette o altri elementi angolati si deve far ricorso al metallo per poter ottenere una resistenza adeguata del giunto

La bullonatura deve essere generosa e simmetrica, mentre il diametro dei singoli bulloni non eccedere il $\varnothing 12-14$ per evitare la concentrazione di tensioni e consentire così il raggiungimento di un meccanismo di collasso di tipo globale con rifollamento degli elementi collegati che è l'unica rottura "duile" consentita dal materiale (Feroldi e Russo 2016)

L'impiego di questo sistema lascia comunque notevole libertà al progettista poiché è molto vicino ad una struttura di tipo tradizionale.

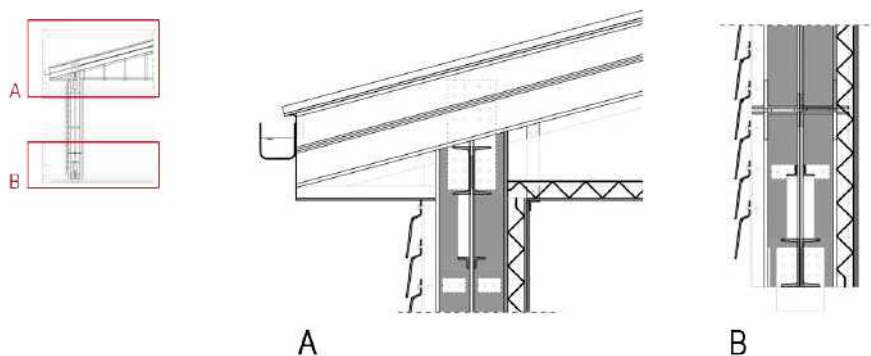


Figura 11.12: Sistema a telaio, dettaglio del montante e del nodo tra montante e copertura

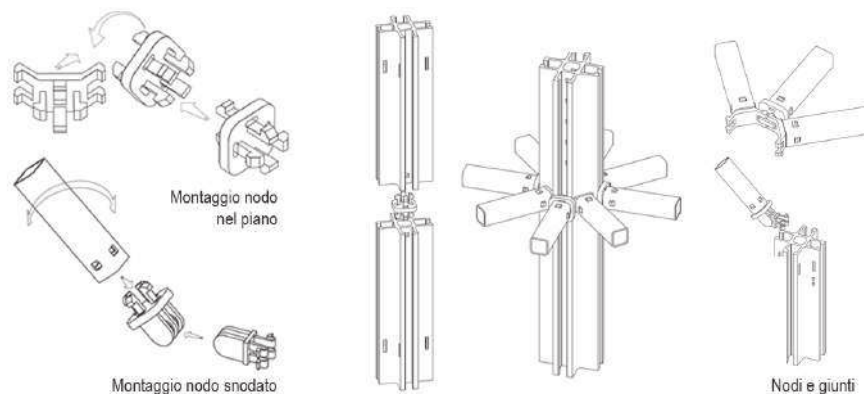


Figura 11.13: Componenti del sistema ad incastro

11.3.3 Proposta di un sistema a incastro

Il terzo sistema proposto non fa uso di collegamenti metallici e non richiede l'impiego di attrezzature per il montaggio perché fa uso di collegamenti a scatto.

I profilati corrispondono ad una sezione non standard corrispondente ad un tubo quadrato con saldate ai vertici quattro "L" con le estremità irrigidite e gli irrigidimenti rivolti verso il risultante canale interno (Fig. 11.13). I profili vanno tagliati secondo una lunghezza standard (1,10 m corrispondenti 4' oschi) e devono essere dotati di fori praticati da una macchina CNC presso le estremità per poter essere collegati.

Gli elementi di collegamento sono realizzati interamente in polimero termoplastico estruso e hanno un funzionamento di tipo *snap-fit* a scatto, mediante dentini da inserire nelle asole praticate nei profili (Fig. 11.14). Sono previsti un elemento per il collegamento verticale testa-a-testa dei montanti e elementi per il collegamento delle aste nei diversi piani del profilo e anche in direzione a 45°. È possibile collegare i profili secondo le direzioni obbligate 0°-45°-90°, oppure utilizzare elementi snodati che permettono di variare l'angolazione delle aste diagonali sia nel piano orizzontale che in quello verticale e quindi consentire una maggiore adattabilità a dimensioni non esattamente corrispondenti al modulo di progetto.



Figura 11.14: Dettaglio dei giunti in polimero termoplastico

Il sistema richiederà, oltre alla modellazione, anche una specifica valutazione sperimentale del comportamento strutturale.

11.4 Chiusure perimetrali esterne/interne

Un problema spesso evidenziato dalla letteratura archeologica in merito alle coperture è l'assenza o, se presente, l'inadeguatezza delle strutture di chiusura perimetrali. In realtà, come lo studio della letteratura ha ampiamente dimostrato, sono proprio queste ultime a risultare indispensabili all'ottenimento di un ambiente confinato e quindi controllato e favorevole alla conservazione materiale e/o all'ambientazione del sito archeologico.

Le file di pilastri nudi con una lastra o una capriata di copertura sembrano essere la soluzione in assoluto più inadeguata, sia perché non realizzano né il confinamento né consentono di ricreare l'ambiente interno dell'edificio, lasciando spaziare la vista tutt'intorno. Le richieste provenienti da conservatori e archeologi in merito alle pareti perimetrali possono essere così descritte: a) isolamento termico; b) controllo irraggiamento solare; c) ricambio d'aria; d) integrabilità con impianti; e) supporto didattico e alla presentazione del sito.

Da queste esigenze, si richiede che i pannelli abbiano le seguenti caratteristiche: a) presenza di uno strato isolante; b) chiusura perimetrale continua con limitate bucaure; c) limitazione delle superfici trasparenti; d) discreta inerzia termica; e) intercapedine impiantistica ispezionabile; f) parti operabili per regolazione del microclima interno.

Il rivestimento potrebbe anche collaborare dal punto di vista strutturale, irrigidendolo, con le strutture a telaio più "leggere" quali il sistema stick-build e quello ad incastro oppure può limitarsi ad offrire semplicemente la protezione richiesta e mascherare la vista della struttura sottostante.

La pultrusione consente di produrre anche profili per usi non strutturali, come quelli delle facciate continue, oppure le doghe dei frangisole, fissi o mobili (Fig. 11.15). La modularità dei pannelli può essere verticale o orizzontale, secondo l'aspetto architettonico che si vuole ottenere. Inoltre la tecnica produttiva consente di integrare nella superficie laminati di altri materiali (legno, metallo, tessuto) per migliorare l'integrazione con l'ambiente circostante o per dare supporto alla presentazione, ad esempio integrando i pannelli didascalici direttamente nelle pareti degli ambienti ricostruiti. Inoltre è possibile utilizzare resine trasparenti così da ottenere profili traslucidi, illuminabili dall'interno mediante led a basso consumo.

Rispetto alla funzione di mitigazione climatica, la leggerezza del materiale pultruso risulta svantaggiosa poiché non vi è massa sufficiente per fornire l'inerzia termica necessaria. Per tale motivo e anche per dare maggiore massa alla struttura in zone particolarmente soggette a forti venti è possibile immaginare di completare i pannelli pultrusi con pannelli in fibrocemento in combinazione con l'isolante termico.

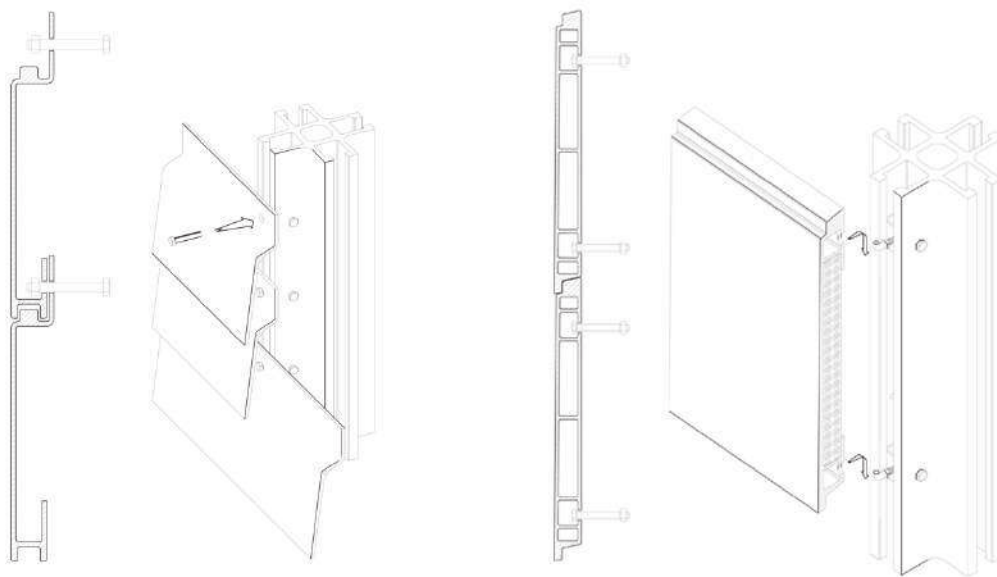


Figura 11.15: Possibili rivestimenti architettonici e modalità di aggancio alla struttura portante

Il manto di copertura è realizzato anch'esso in pultruso, mediante ampi profilati a canale, che simulano gli embrici, uniti mediante abbottonatura ad un profilo a T. L'ala della T è arcuata o sagomata in modo da simulare la forma del coppo di copertura della giunzione

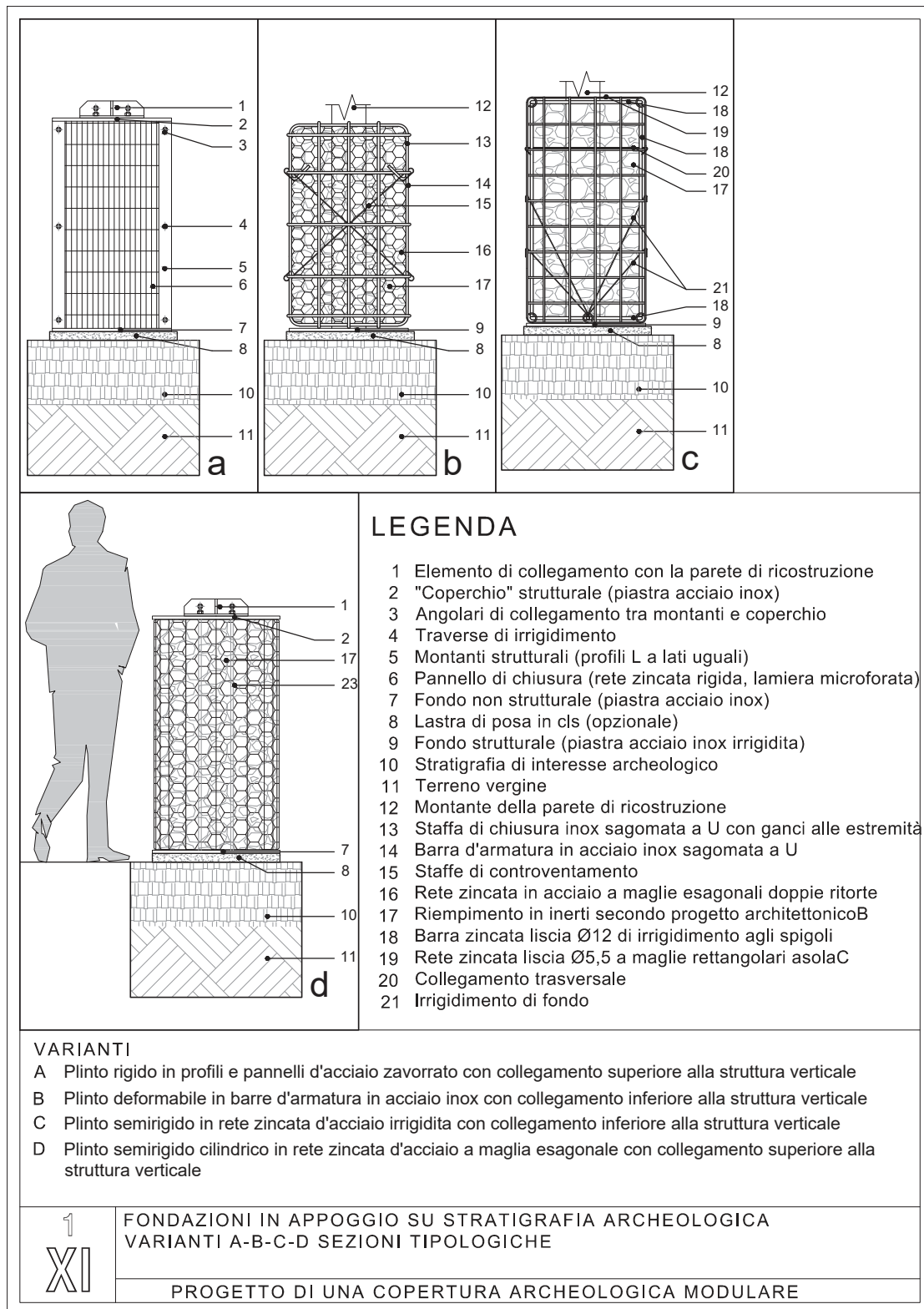
tra le due file di embrici e serve anche ad irrigidire l'unione. Il collegamento con la struttura sottostante avviene sfruttando questo profilo, allungandolo sino alla trave, o lo spazio di commessura inserendovi i fazzoletti di collegamento.

11.5 Osservazioni finali

Perché sia efficace, l'intervento di copertura deve a tutti gli effetti ripristinare l'involucro edilizio che il rudere ha perso nel corso della sua trasformazione da edificio a rovina. Sull'involucro si concentrano i problemi visivi, climatici, architettonici e strutturali individuati nei capitoli precedenti. Tuttavia già a prima vista è evidente che un sistema costruttivo in grado di rispondere effettivamente a *tutti* questi aspetti e per di più di fare fronte all'enorme variabilità geometrica del rudere risulterebbe in un sistema estremamente chiuso oppure talmente variabile da non potersi nemmeno dire un "sistema". Inoltre, la sua disponibilità sarebbe strettamente subordinata alla produzione industriale e non è pensabile che la domanda possa essere così sostenuta da contenere i costi di produzione e indurre a miglioramenti costruttivi.

Per questi motivi si è deciso di proporre un sistema che assembla le risposte ai diversi problemi individuati utilizzando in parte soluzioni tecnologiche esistenti e adattandole al contesto archeologico in parte soluzioni nuove. L'impiego di materiali edili esistenti riguarda in particolare le strutture di fondazione, mentre le strutture fuori terra sono realizzate tramite nuove proposte costruttive utilizzando i profilati pultrusi. La loro applicazione è consentita sia in rapporto alla protezione sismica del sito, sia in rapporto alla semplice ricostruzione.

Tavole



LEGENDA

- 1 Elemento di collegamento con la parete di ricostruzione
- 2 "Coperchio" strutturale (piastra acciaio inox)
- 3 Angolari di collegamento tra montanti e coperchio
- 4 Traversi di irrigidimento
- 5 Montanti strutturali (profili L a lati uguali)
- 6 Pannello di chiusura (rete zincata rigida, lamiera microforata)
- 7 Fondo non strutturale (piastra acciaio inox)
- 8 Lastra di posa in cls (opzionale)
- 9 Fondo strutturale (piastra acciaio inox irrigidita)
- 10 Stratigrafia di interesse archeologico
- 11 Terreno vergine
- 12 Montante della parete di ricostruzione
- 13 Staffa di chiusura inox sagomata a U con ganci alle estremità
- 14 Barra d'armatura in acciaio inox sagomata a U
- 15 Staffe di controventamento
- 16 Rete zincata in acciaio a maglie esagonali doppie ritorte
- 17 Riempimento in inerti secondo progetto architettonico B
- 18 Barra zincata liscia Ø12 di irrigidimento agli spigoli
- 19 Rete zincata liscia Ø5,5 a maglie rettangolari asola C
- 20 Collegamento trasversale
- 21 Irrigidimento di fondo

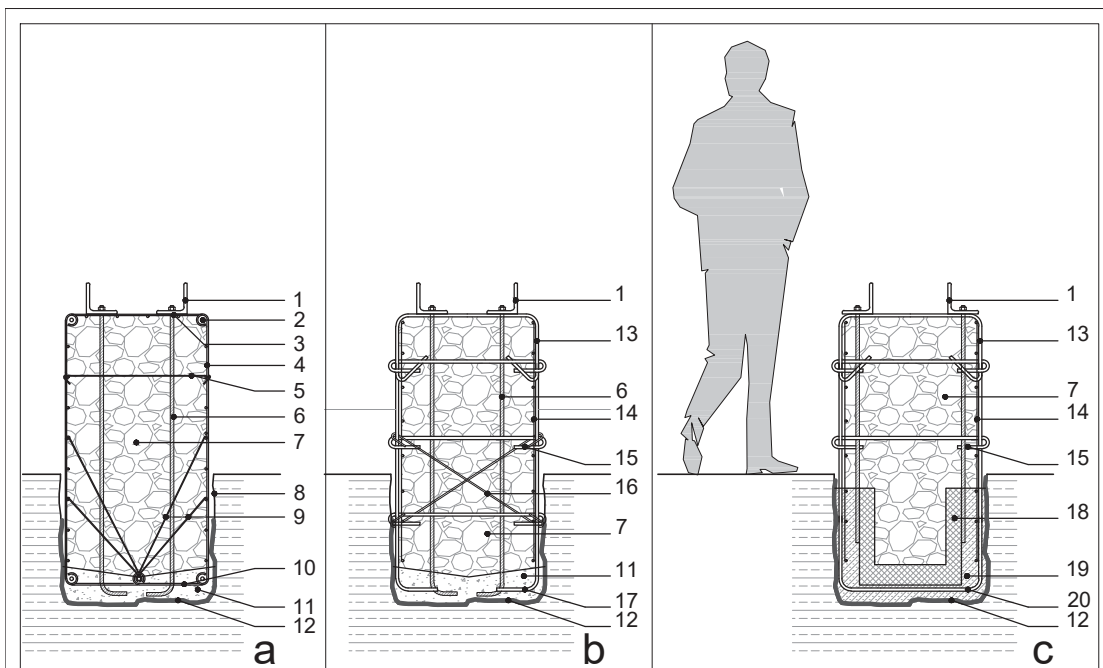
VARIANTI

- A Plinto rigido in profili e pannelli d'acciaio zavorrato con collegamento superiore alla struttura verticale
- B Plinto deformabile in barre d'armatura in acciaio inox con collegamento inferiore alla struttura verticale
- C Plinto semirigido in rete zincata d'acciaio irrigidita con collegamento inferiore alla struttura verticale
- D Plinto semirigido cilindrico in rete zincata d'acciaio a maglia esagonale con collegamento superiore alla struttura verticale

1
XI

FONDAZIONI IN APPOGGIO SU STRATIGRAFIA ARCHEOLOGICA
VARIANTI A-B-C-D SEZIONI TIPOLOGICHE

PROGETTO DI UNA COPERTURA ARCHEOLOGICA MODULARE



VARIANTI

- A Gabbia in rete zincata a maglie quadre con irrigidimenti trasversali e agli spigoli su fossa di spoglio in terreno sciolto con predisposizione di drenaggio
- B Gabbia con struttura principale in barre d'armatura zincate sagomate, rete di trattenimento in maglia zincata, elementi trasversali di irrigidimento, su fossa di spoglio in terreno sciolto con drenaggio
- C Gabbia con struttura principale in barre d'armatura zincate sagomate, rete di trattenimento in maglia zincata, elementi trasversali di irrigidimento, su fossa di spoglio in terreno coesivo con drenaggio

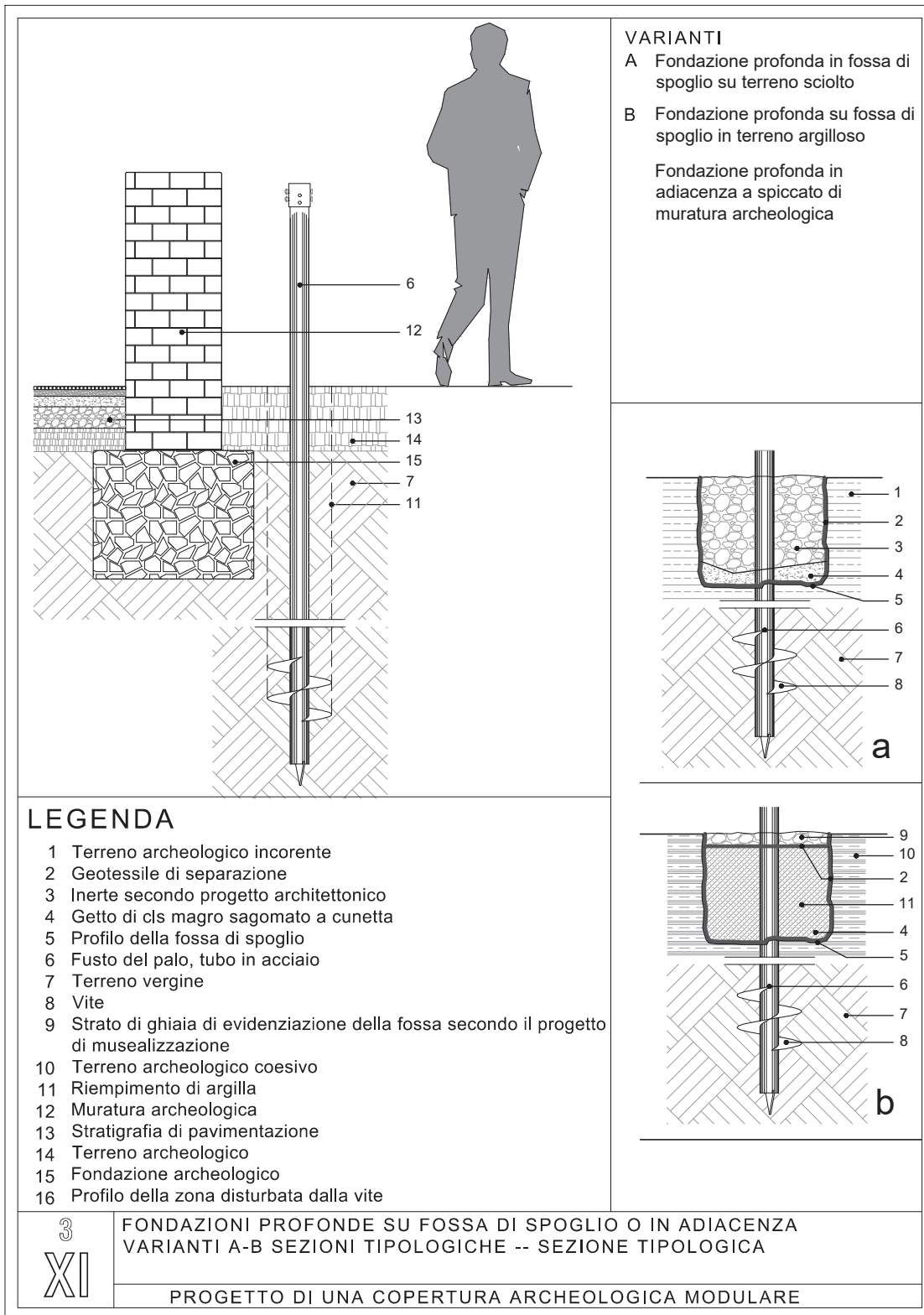
LEGENDA

- 1 Profili di collegamento con la parete di ricostruzione
- 2 Barra liscia zincata Ø12 di irrigidimento agli spigoli
- 3 Pannello di chiusura superiore (rete zincata liscia Ø5,5 asolata alle estremità)
- 4 Pannello di chiusura laterale (rete zincata liscia Ø5,5 asolata alle estremità)
- 5 Staffa di irrigidimento trasversale
- 6 Barra filettata di ancoraggio della parete di ricostruzione
- 7 Riempimento di materiale inerte a scelta del progettista
- 8 Profilo della fossa di spolio della parete
- 9 Staffe di irrigidimento strutturale
- 10 Pannello di chiusura inferiore (rete zincata liscia Ø5,5 asolata alle estremità)
- 11 Getto di fondo in calcestruzzo magro sagomato a cunetta
- 12 Strato di separazione in geotessile
- 13 Staffa di chiusura sagomata a U con ganci alle estremità
- 14 Rete zincata in acciaio a maglie esagonali doppie ritorte o retina zincata a maglie quadre
- 15 Staffa di collegamento trasversale
- 16 Steffe di controventamento
- 17 Barre verticali di chiusura della gabbia
- 18 Canaletta prefabbricata in cls
- 19 Argilla costipata
- 20 Ferro a U

2
XI

FONDAZIONI IN APPOGGIO SU FOSSA DI SPOLIO
VARIANTI A-B-C SEZIONI TIPOLOGICHE

PROGETTO DI UNA COPERTURA ARCHEOLOGICA MODULARE



Capitolo 12

Applicazione del sistema. La ricostruzione delle *domus* nel complesso delle Terme del Sarno

La metodologia proposta a larga scala, quindi lo studio della costruzione geometrica, l'individuazione del sistema modulare e del sistema metrologico per la definizione della forma, e le linee guida per il progetto vengono ora applicate ad un caso reale per valutarne la fattibilità.

Il caso studio prescelto è l'insediamento residenziale posto a coronamento del complesso delle Terme del Sarno nella *regio* VIII di Pompei. Esso rappresenta peraltro una situazione al limite dell'applicabilità del sistema "regole" individuate nel corso dei capitoli precedenti a causa della sua evidente irregolarità e unicità nel tessuto urbano della città archeologica.



Figura 12.1: Inquadramento del complesso delle Terme del Sarno nella porzione meridionale di Pompei

12.1 Il complesso delle Terme del Sarno: storia degli studi e acquisizioni recenti

Nel biennio 2015-2017 l'Università di Padova ha finanziato il progetto di ricerca MACH (Multidisciplinary methodological Approaches to the knowledge conservation and valorization of Cultural Heritage: application to archaeological sites) finalizzato all'acquisizione, tramite la collaborazione tra ricercatori afferenti a diverse discipline (beni culturali, ingegneria, geologia e scienza dei materiali), di nuovi e più completi dati relativi ai complessi archeologici di Gortyna di Creta, Nora (Sardegna) e Pompei. In particolare in quest'ultimo sito, l'attività di ricerca si è concentrata sul complesso noto come "Terme del Sarno" ma di fatto destinato ad una varietà di funzioni, tra cui anche quella residenziale, svolta nella grande *domus* posta ai livelli più alti dell'edificio.

12.1.1 Lo scavo e il restauro

Il complesso delle Terme del Sarno sorge nell'estremità meridionale della *Regio VIII*, in corrispondenza dell'incrocio ad angolo retto tra Via delle Scuole e Vicolo della Regina, e corrisponde ai numeri civici da 18 a 23 della *Insula II* (Fig. 12.1). Quanto è oggi visibile è il risultato di un processo di occupazione degli spazi liminari della città, situati presso la cinta muraria ma vantaggiosamente collocati in vista della piana sottostante e del mare, avviato dal II sec. a.C. a spese di un edificato minuto preesistente. Oltre al complesso appena ricordato questo fenomeno porta alla creazione di alcune delle case più note di Pompei, tra cui le case di Championnet (VIII, 2, 3-5), la casa dei Mosaici Geometrici (VIII, 2, 14-16), la casa di Giuseppe II (VIII, 2, 38-39), la casa del Cinghiale (VIII, 2, 26-27) (Nuzzo 2015; Zanker 1993). La ristrettezza degli spazi e la vicinanza al ciglio del banco lavico su cui sorge la città hanno fatto sì che questi edifici si sviluppassero su più livelli, in una articolata commistione di sostruzioni, terrazzamenti e riempimenti, locali d'abitazione e ambiti produttivi la cui precaria situazione statica era risultata evidente già in antico e ancor di più dopo il terremoto del 62 d.C. i cui effetti sono evidenti anche nello stato "congelato" dalla successiva eruzione (Nuzzo 2015). Le terme rappresentano solo una delle numerose funzioni, assieme alla residenza e forse al deposito di merci, riconosciute svolgersi nei quasi cento ambienti e i cinque livelli del complesso per uno sviluppo di circa 3000 m² coperti e 700 scoperti (Bernardi et al. 2019) (Fig. 12.2).

Lo scavo delle Terme venne condotto con qualche interruzione procedendo da est verso ovest tra il 1887 e il 1890 fino al terzo livello interrato mentre la facciata del piano sottostante viene portata totalmente allo scoperto solo nel 1936 (Bernardi e Busana 2019); negli anni Cinquanta vengono finalmente rimossi gli scarichi dei materiali degli scavi precedenti e con l'occasione viene messo a nudo, erroneamente, anche lo zoccolo di fondazione della struttura.

Dalla lettura della documentazione di archivio e delle pubblicazioni relative al complesso, risultano estesi interventi di restauro e ricostruzione sia nelle parti sopravvissute delle *domus* a livello del piano urbano sia nella parte dell'edificio a più piani addossato al banco tufaceo, anche se le fonti non permettono sempre una precisa individuazione della loro estensione e della loro collocazione.

Un fenomeno di dissesto della facciata sud, che si è peraltro ripresentato allo stato attuale,

aveva indotto il primo scavatore a demolire e ricostruire, ricollocando l'apparato decorativo connesso, le volte delle terme e alcuni muri interni. Non sembra tuttavia che questa operazione abbia rispettato perfettamente i dati archeologici originali (Bernardi e Busana 2019).

Analogamente, il confronto tra quanto rinvenibile oggi in sito e le notizie riportate da relazioni d'epoca evidenziano la ricostruzione di estesi tratti in elevato delle murature della *domus* (Centola 2018). Dopo la fase di scavo si riscontra un affievolimento dell'interesse per il complesso, destinato peraltro a deposito di materiali di varia natura provenienti dalla città, e gli studi specifici (Ioppolo 1992; Kolosky Ostrow 1990; Noack e Lehmann-Hartleben 1939) appaiono molto distanziati nel tempo e non sempre puntuali.



Figura 12.2: Veduta da sud con individuati i gruppi di ambienti descritti nel testo.

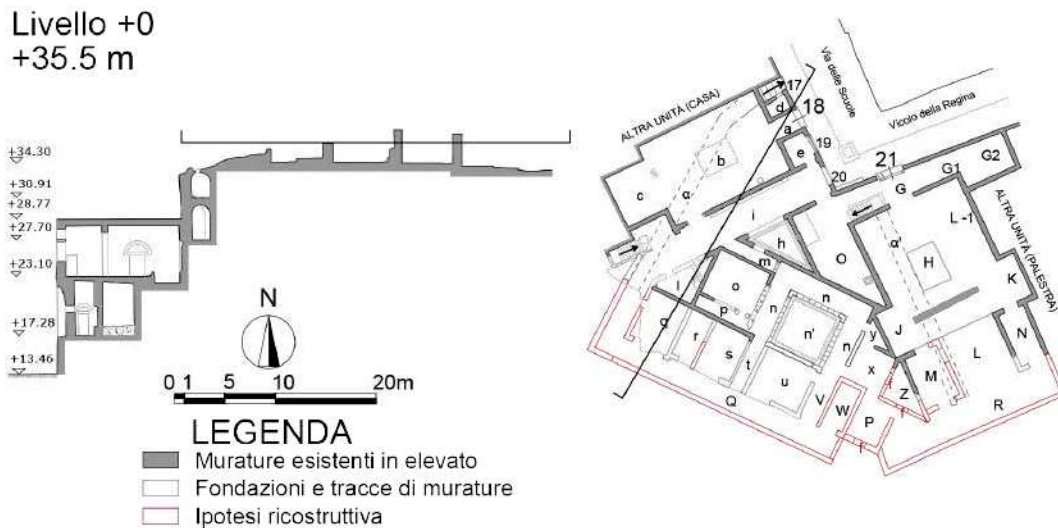


Figura 12.3: Piante a livello della città archeologica e sezione trasversale del complesso (da Bernardi et al. 2019)

Come per le altre strutture poste lungo il bordo del pianoro vulcanico su cui sorge la città antica, la struttura si sviluppa a diretto contatto con il banco tufaceo digradando dal calpestio urbano fino a quello che, prima dell'eruzione del Vesuvio, era il litorale di Pompei.

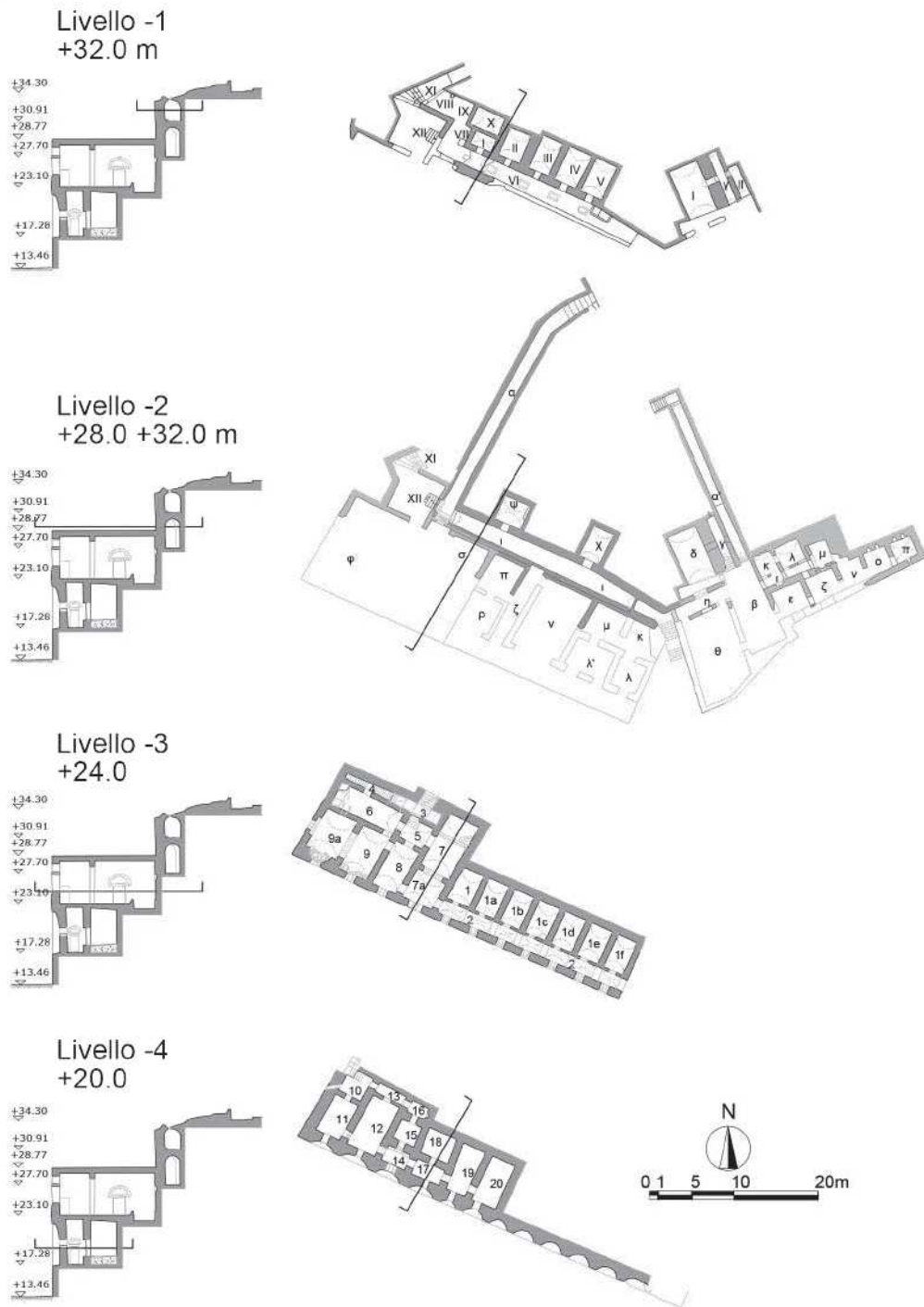


Figura 12.4: Piante dei livelli interrati con indicazione in sezione della quota progressiva (da Bernardi et al. 2019).

Al livello più alto (Livello 0; Fig. 12.3), accessibili da Via delle Scuole e da Vicolo della Regina, si trovano tre settori con funzione residenziale, in collegamento tra loro, molto probabilmente a due piani, e gli ingressi ai livelli sottostanti; il livello -1, a carattere più

dimesso e caratterizzato dalla presenza di cisterne per le *domus* soprastanti, è interpretato come il quartiere di servizio e di alloggio della servitù di queste ultime (Fig.). Scendendo ancora si incontrano tre appartamenti panoramici (livello -2), serviti da un criptoportico e raggiungibili mediante scale e una galleria dalla strada; le terme (livello -3) che trovavano accesso proseguendo i percorsi che raggiungevano gli appartamenti; infine un gruppo di ambienti (livello -4) con probabile funzione di deposito. Il salto di quota tra il calpestio degli ambienti posti più in basso (+17,30 m) e il pavimento delle *domus* (+34,30 m) è di 17 m (Bernardi et al. 2019). Ancora molto dibattuta è la proprietà e soprattutto l'uso di un complesso in cui funzioni pubbliche e private, e anche queste di pertinenza di un unico o di diversi soggetti proprietari, risultano continuamente sovrapporsi sia in termini spaziali sia per quanto riguarda i flussi di traffico e i percorsi di accesso (Fig.).

12.1.2 Il nuovo piano di indagine

Le indagini multidisciplinari hanno seguito tre indirizzi fondamentali: a) la ricostruzione del contesto ambientale antico e delle fasi di costruzione, uso e abbandono del complesso; b) la diagnosi dei materiali e dell'apparato decorativo; c) l'accertamento del funzionamento strutturale e la valutazione di sicurezza a fini della valorizzazione del complesso e della sua apertura al pubblico.

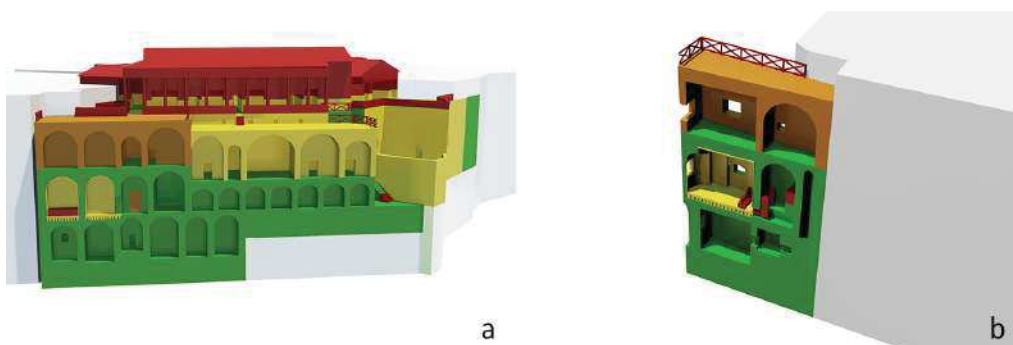


Figura 12.5: Sezione longitudinale e trasversale sul calidarium delle terme del complesso. Il colore, passando dal verde al rosso, indica dalle aree attestate dal punto di vista archeologico sino alle totali ricostruzioni (da Bernardi et al. 2019).

In dettaglio le nuove acquisizioni, presentate da Maritan et al. (2019), consistono in:

- ricerca d'archivio e bibliografica;
- indagine archeologica del terreno antistante il complesso e corrispondente al litorale antico (trincea e carotaggi);
- studio dell'assetto planimetrico del complesso e dei suoi percorsi interni durante l'ultima fase di vita (Fig. 12.5);
- analisi stratigrafica delle strutture murarie conservate con particolare riferimento al prospetto sud;
- rilievo fotogrammetrico al laser scanner (Fig. 12.6);

- campionamento delle malte e dei blocchi lapidei e laterizi ai fini della caratterizzazione materica e della datazione;
- campionamento dei materiali e rilievo dello stato di degrado degli apparati decorativi;
- prove di caratterizzazione strutturale non distruttive (identificazione dinamica, prove soniche, termografie, georadar e indagini geoelettriche) per la qualificazione del comportamento statico e dinamico della struttura



Figura 12.6: Restituzione fotogrammetrica della facciata del complesso vista da Sud (da [66])

12.2 La *domus* ai civici 18, 20, 21

12.2.1 Descrizione degli spazi

Al livello del calpestio della Pompei antica, sulla sommità dell'edificio multipiano, sorge quella che all'epoca dell'eruzione doveva forse essere un'unica abitazione, comprendente due atrii privi di cubicoli e un settore incentrato attorno ad un peristilio. In attesa di nuovi scavi a conferma delle ipotesi, l'attuale configurazione architettonica fa supporre che i due atrii fossero preesistenti e che l'inserimento dell'abitazione posta proprio nell'angolo abbia obliterato parte degli ambienti che li circondavano. La descrizione degli spazi residenziali procede da nord-ovest verso sud-est e fa riferimento alle Figg. 12.3, 12.1.1, 12.7.

L'ingresso al civico 18 immette nel tradizionale sistema di *fauces* (*a*), atrio (tuscanico, *b*) e tablino (*c*); sul fronte, ai lati dell'ingresso, si trovano due piccoli ambienti (*d*, *e*), forse interpretabili più come guardiole che botteghe viste le ridottissime dimensioni e la presenza di aperture rivolte verso gli ingressi principali. L'atrio *b* comunica mediante una porta con il corridoio *i*, raggiungibile dalla strada mediante l'ingresso al num. 20. Questo corridoio consente l'accesso alla casa posta nell'angolo, tramite l'ulteriore corridoio *m* e il vano scala *l*, e anche agli ambienti posti ai piani inferiori. Un cortile *h*, confermato dalla presenza di una canaletta perimetrale in tufo che convoglia l'acqua verso uno scolo posto sulla parete orientale, probabilmente comunicante con la cisterna sotto il vano *O*, risolve l'irregolarità dell'intersezione tra gli edifici preesistenti e il nuovo. Questo piccolo cortile permette inoltre di illuminare i due corridoi di distribuzione *i* e *m*. Il corridoio *m* conduce

al peristilio $n-n'$ centrale alla casa dotato di soli 3 bracci di portico e su cui si apriva il triclinio o .

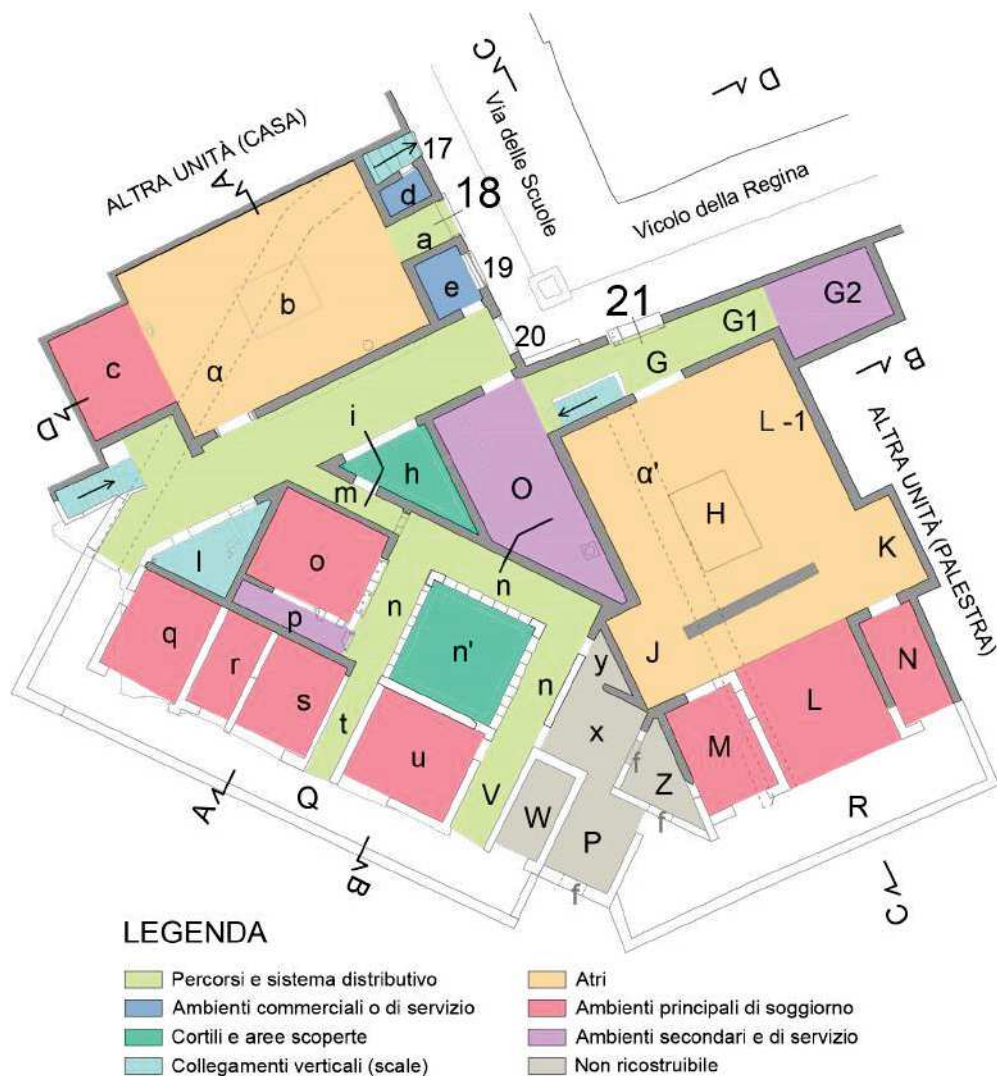


Figura 12.7: Piante della *domus* con indicazione delle funzioni ricostruite degli spazi.

Gli ambienti posti sulla facciata sud (q, r, s, u) erano raggiungibili mediante i corridoi t e v posti a prosecuzione del portico del peristilio e che probabilmente si concludevano in una terrazza, il cui profilo di reintegrazione corrisponde all'ambiente Q venendo ricavato dal tetto delle cisterne sottostanti (Centola 2018). L'angolo sud-orientale della casa, al limite con l'atrio al civico 21, è stato quasi interamente ricostruito durante il progetto di ricerca perché poco o nulla se ne è conservato: di questi vani (w, P, z) non è possibile ricostruire la funzione se non immaginare che l'ultimo fosse in realtà, al pari dell'ambiente h , un cortile scoperto destinato ad assorbire il disallineamento tra strutture murarie vecchie e nuove; la presenza di uno scolo può far propendere per l'ipotesi di assenza di copertura di questo spazio.

Il terzo gruppo di ambienti è accessibile dal civico 21 e ha centro nel grande atrio H

dotato di *alae* (*J*, *K*) ma privo di *fauces*. Subito dopo l'ingresso un corridoio a U (*G*), corrispondente alla posizione di quelle che sarebbero le botteghe e la cella dello schiavo guardiano, dà accesso all'atrio e conduce verso ovest al vano *O*, interpretato come cucina, comunicante con una porta con il corridoio dell'ingresso al civ. 20. L'atrio *H* si concludeva nel tablino fiancheggiato dai due cubicoli e forse una terrazza (*R*) che si può solo ipotizzare comunicante con l'altra (*Q*) poiché non si ha oggi traccia di tali strutture.

Le murature sono realizzate in opera incerta con nucleo cementizio e catene angolari in mattoni o in opera vittata mista dello spessore attorno ai 45 cm che arrivano ad un'altezza libera di 5 m anche se nelle relazioni d'epoca sono riportate attorno ai 3 m, facendo ipotizzare anche qui la presenza di restauri (Centola 2018).

12.2.2 Riconoscimento dei tracciati regolatori

L'atrio tuscanico (civ. 18) rispetta abbastanza il canone vitruviano poiché il lato più lungo corrisponde alla diagonale del quadrato costruito a partire dal lato minore di ingresso, il tablino è circa pari alla metà della larghezza dell'atrio — in realtà è poco più largo —, corrispondendo a quanto prescritto per gli atrii larghi fino a 30 piedi (*De Architectura* VI, 3, 5) e le *fauces* metà del tablino e quindi 1/4 della larghezza dell'atrio. Centola (2018) afferma che le misure interne nette dell'atrio al civico 18 di $8,67 \times 12,59$ m si traducono in una lunghezza di 43' (romani) e un rapporto tra lati di 3:2. Utilizzando i piedi oschi la conversione restituisce invece $32' \times 46'$ i quali non sono numeri primi, anzi 32 è il doppio di 16, valore che si è visto importante nella numerologia antica (cfr. par. 8.1.2); il rapporto tra questi valori è 1,44 cioè quasi esattamente il rapporto $\sqrt{2} : 1$ corrispondente alla costruzione geometrica proposta nel prossimo paragrafo. Gli ambienti posti sul fronte corrispondono in profondità alla larghezza delle *fauces* mentre la profondità del tablino corrisponde alla sua larghezza, nella misura "teorica". La differenza tra i due lati dell'atrio corrisponde (incidentalmente?) alla larghezza del corridoio a sud corrispondente all'accesso del civico 20 (Fig. 12.8a)¹.

L'atrio, forse tetrastilo, che si sviluppa a partire dall'ingresso al numero 21 trova invece minori rimandi alle fonti, in particolare si può riconoscere la corrispondenza proporzionale tra gli ambienti afferenti all'atrio e quest'ultimo ma non c'è riscontro con le proporzioni generali. Così il tablino è largo circa metà dell'atrio e ha pianta pressappoco quadrata, e il vano della porta risulta a sua volta la metà del tablino, anche le ali sono larghe un terzo della profondità dell'atrio. Ribaltando invece il modulo utilizzato nel senso della larghezza dell'atrio (4 moduli) in direzione perpendicolare, si trova che la lunghezza è pari a 4,5 moduli, valore che non rientra nelle misure suggerite da Vitruvio; è possibile riconoscere una parziale corrispondenza con la proporzione 3/5 solo considerando l'intera estensione dell'atrio, compreso il tablino. La profondità delle ali è pari a 1/2 modulo (Fig. 12.8c).

Il settore che si estende nello spazio di forma triangolare tra i due atrii, risulta solo apparentemente priva di una struttura geometrica predeterminata per via della forma non canonicamente vitruviana e del conflitto tra gli allineamenti murari. Il centro dello schema compositivo è rappresentato dal triclinio, la cui parete sud giace sull'asse maggiore di

¹Fatto 1 il lato minore, la differenza è pari a $\sqrt{2} - 1$. Per la confrontabilità tra le misure del trattato vitruviano e un edificio reale, cfr. la casa di Tito Macro ad Aquileia, cfr. Ghedini e Bonetto (2014).

simmetria mentre la parete est rappresenta l'asse minore (Fig. 12.8b). La larghezza dei due corridoi fiancheggianti il triclinio è pari a $1/4$ della distanza tra l'asse e la parete di fondo della casa verso via delle Scuole ed è anche il modulo utilizzato per l'intero edificio, corrispondente molto probabilmente a 6' oschi. Se infatti il fabbricato è profondo 8 moduli interi, con il sistema distributivo largo un modulo e gli ambienti larghi 3 moduli, nel senso del prospetto principale la spaziatura degli ambienti segue un ritmo alterno di 1,5 (9' oschi) e 2,5 moduli (15' oschi); la scansione si interrompe in corrispondenza dell'asse di simmetria: la larghezza dell'ambiente sul fronte è in conflitto con la maggiore profondità (1,5 moduli) necessaria per il porticato risultando in una sovrapposizione tra i due schemi di $1/2$ modulo. Dopo il peristilio, la cui parte scoperta è un quadrato di lato 3,5 moduli (21'), la casa si conclude ripetendo due allineamenti a 1,5 moduli. Ne risulta un edificio la cui pianta, al netto delle deformazioni connesse all'innesto nei due atri, è inscritto in un rettangolo coi lati uno doppio dell'altro.

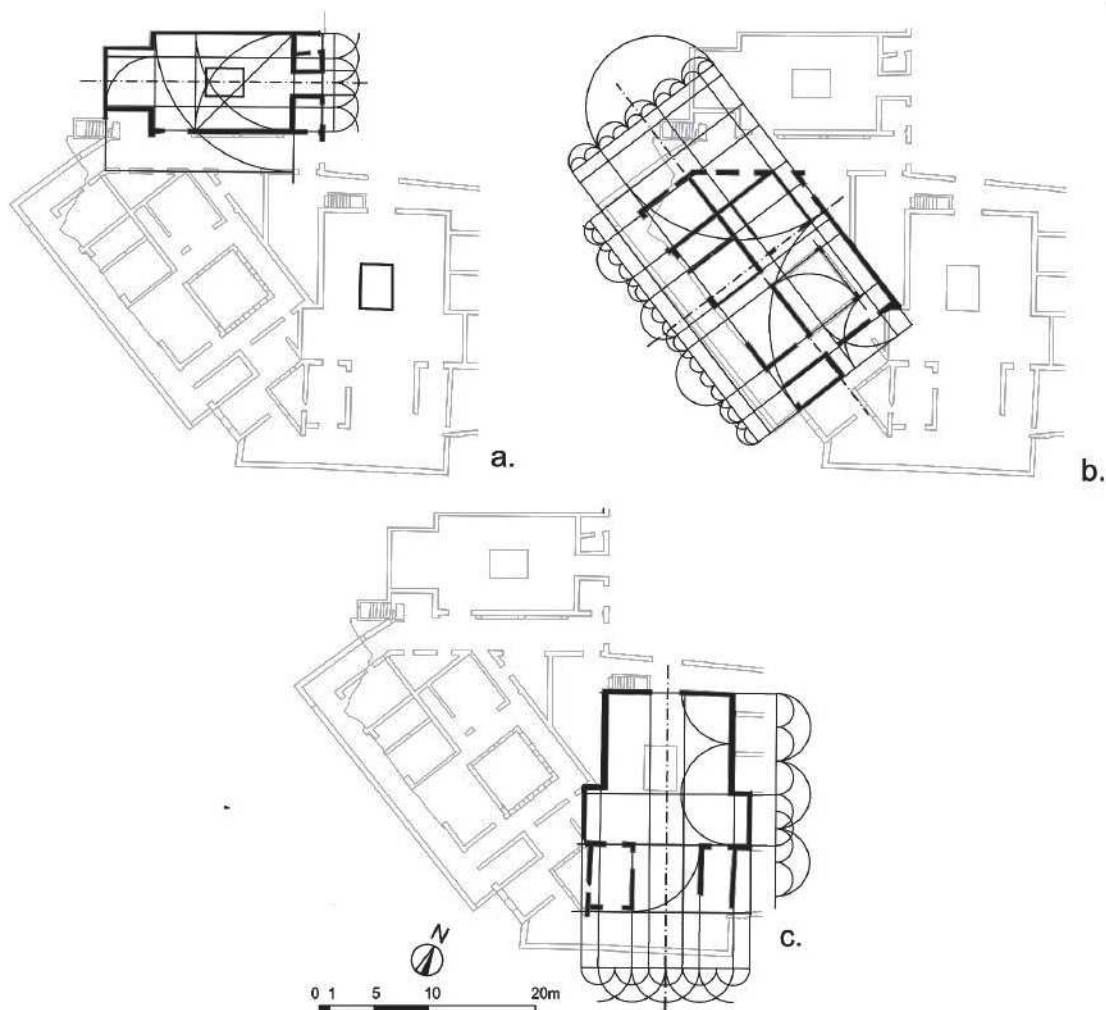


Figura 12.8: Tracciati regolatori dei tre nuclei secondo le indicazioni vitruviane.

12.2.3 Livelli superiori e coperture

Per la ricostruzione degli alzati della *domus* è possibile fare riferimento sia alle indicazioni del testo vitruviano, che sembra costituire un riferimento per l'impianto planimetrico, sia utilizzando le indicazioni provenienti dall'altezza dei lacerti murari tutt'ora esistenti e dalle testimonianze di scavo. Queste ultime sono alla base della proposta ricostruttiva elaborata da Centola (2018) successivamente presentata in Maritan et al. (2019) la quale è scesa nel dettaglio della configurazione e del dimensionamento delle strutture lignee impiegate negli orizzontamenti e nelle coperture del complesso.

Per l'abitazione posta di traverso ai due atri di ingresso, il punto di partenza è rappresentato dalle scale poste nel vano *l*, le quali, in quanto uniche rinvenibili nella *domus* a condurre ad un altro piano fuori terra — le altre scendono tutte agli ambienti interrati—, limitano la presenza di spazi al primo piano a quest'area. A sostegno dell'ipotesi non sono note a chi scrive, nei locali attornianti gli atri, scale o tracce corrispondenti.

La scala, in muratura per i primi 3 gradini e probabilmente in legno per il tratto superiore, avrebbe dato accesso al primo piano dall'estremità occidentale, obbligando al passaggio attraverso le stanze poste in facciata *en enfilade* secondo uno schema in realtà coerente con la mentalità romana, per quanto oggi sia inaccettabile (Fig. 12.9a). Il problema è risolvibile se si ipotizza che il peristilio avesse una copertura a terrazza o fosse a due livelli in modo da poterlo usare come sistema distributivo agli spazi di soggiorno separatamente da questi ultimi, risultando servito direttamente dalla scala mediante un corridoio in corrispondenza verticale con quello fiancheggiante il tablino (Fig. 12.9b). La terza variante si ottiene ipotizzando la presenza, come già fatto in occasioni di studi passati sul complesso, di un altro vano scala negli ambienti di risulta all'intersezione tra i corpi di fabbrica (Fig. 12.9c; Centola 2018).

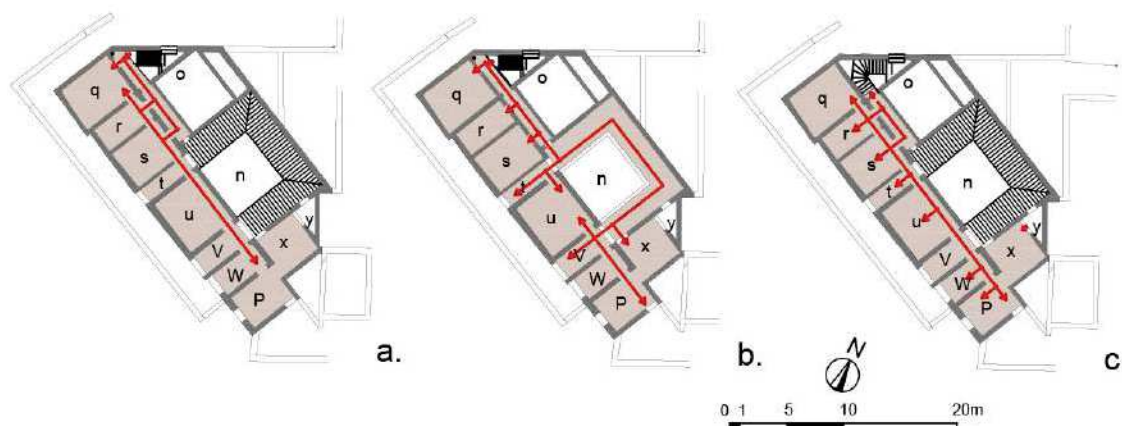


Figura 12.9: Tracciati regolatori dei tre nuclei secondo le indicazioni vitruviane.

L'altezza dei locali è stata determinata sulla base di uno studio dimensionale condotto da V. Centola (2018) nella vicina Ercolano mentre l'altezza complessiva e l'inclinazione del tetto a capanna con orditura spingente dipendono dal calcolo a ribaltamento della parete in fase statica con l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza (Sbrogiò et al. 2018); per il triclinio aperto sul peristilio si è ipotizzata una copertura in camoranna a

volta. Mantenendo la medesima configurazione geometrica di base si è anche ipotizzata una variante dell'altezza dei locali, rispettando le indicazioni date da Vitruvio: la media dei due lati per l'altezza delle stanze rettangolari (*De Architectura*, VI, 3, 5; Fig. 12.10).

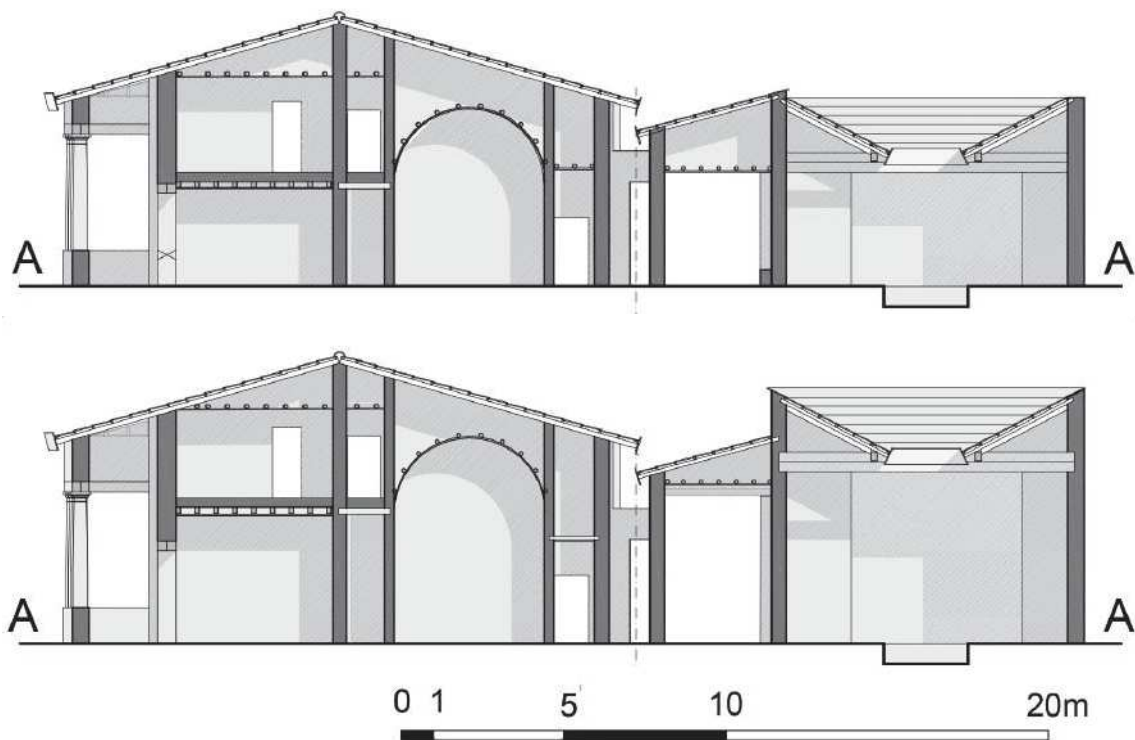


Figura 12.10: Sezione trasversale sull'atrio al num 18 e sul tablino nelle due versioni

L'atrio *b* con i suoi quasi 9 m di luce netta trasversale è stato ricostruito come tuscanico semplice, mentre l'altro, in forza delle dimensioni ancora più grandi (11,20×13,60 m), è stato risolto secondo lo schema del tetrastilo anche se le tracce a supporto di tale configurazione sono molto labili e la bibliografia tace in proposito (Centola 2018). Anche di questi spazi si sono provate a dare due versioni in rapporto all'altezza. In particolare, nella ricostruzione già disponibile si è utilizzata una scala più ridotta per le altezze, partendo dalle murature superstiti e dal sistema proporzionale dell'ordine dorico che si è ipotizzato impiegato nell'atrio tetrastilo. Al contrario, impiegando le regole indicate da Vitruvio per ottenere le altezze degli ambienti principali della *domus* si ottengono proporzioni completamente diverse, a volte talmente imponenti da porre qualche dubbio sulla reale fattibilità costruttiva di certe scelte.

Così si dice che l'altezza netta "sotto le travi" — forse intendendo sotto le *trabes traiectae* dell'impluvio — è pari ai 3/4 della lunghezza dello stesso, che l'altezza dell'architrave del tablino è i 9/8 della larghezza e che il soffitto di quest'ultimo va posto ad una distanza da terra pari ai 4/3 della larghezza di quel vano (*De Architectura*, VI,3,4). In questo modo, nell'atrio *b* se il tablino è largo circa 4,5 m (nella costruzione geometrica della casa), l'architrave si trova a 5,10 m da terra e il soffitto (controsoffitto in realtà) a 6 m;

altezze ancora maggiori si ottengono per l'atrio, il quale si innalza fin quasi a 10, fino alle travi dell'impluvio, ma, considerando l'inclinazione delle falde e riferendosi al fatto che Vitruvio ricorda un "resto" della larghezza riportata in altezza da destinarsi alla struttura del tetto, non è difficile immaginare che il bordo superiore del tetto arrivasse agli stessi 12,6 m della larghezza (Fig. 12.10).

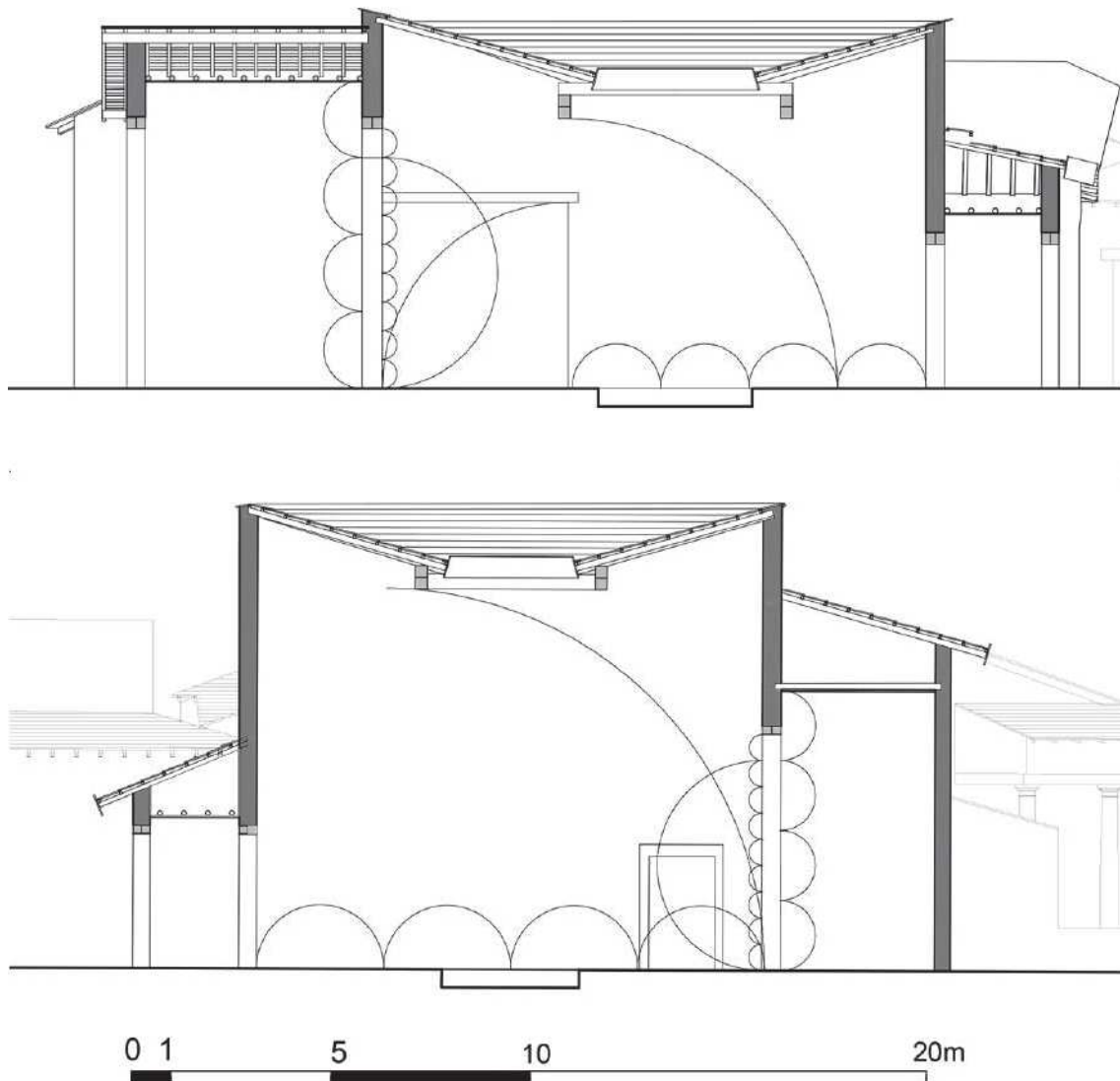


Figura 12.11: Sezione trasversale con l'interpretazione della costruzione geometrica proposta da Vitruvio.

Tale ipotesi comporta una notevole difficoltà, soprattutto laddove si ricordi che Vitruvio parla di atri lunghi anche 100 piedi, cioè poco meno di 30 m²; la soluzione potrebbe

²Ma si tratta di casi assai rari, uno dei pochi attestati che, nelle ricostruzioni, raggiunga tali dimensioni è l'atrio della casa di M. Emilio Scauro a Roma, cfr. Coarelli (1996). Tuttavia a Pompei Ruggieri (2017) osserva alcuni atri alti fino ad 8 m.

essere offerta di converso dalla stessa configurazione dell'atrio: considerando due esempi pompeiani con atrii delle stesse dimensioni (circa 60 piedi di lunghezza), la casa delle Nozze d'Argento (V,2,1) e quella dei Diadumeni (IX,1,20), le proporzioni verticali risultanti sono completamente diverse, di maestoso sviluppo verticale per la prima, di espansione orizzontale per la seconda, tutto in dipendenza dall'ordine adottato per le colonne. L'effetto finale della Casa delle Nozze d'Argento si avvicina a quanto descritto da Vitruvio ed è paragonabile a quello che si ottiene adottandone le misure in questa *domus*. Infine, proprio in rapporto alle diverse proporzioni delle strutture, si è proposto un atrio di tipo tuscanico anche per la casa al numero 21, poiché non si evidenziano gli elementi di un tetrastilo così imponente come risultato di questa proposta ricostruttiva come appunto si rinvenivano nella casa delle Nozze d'Argento (Fig. 12.11).

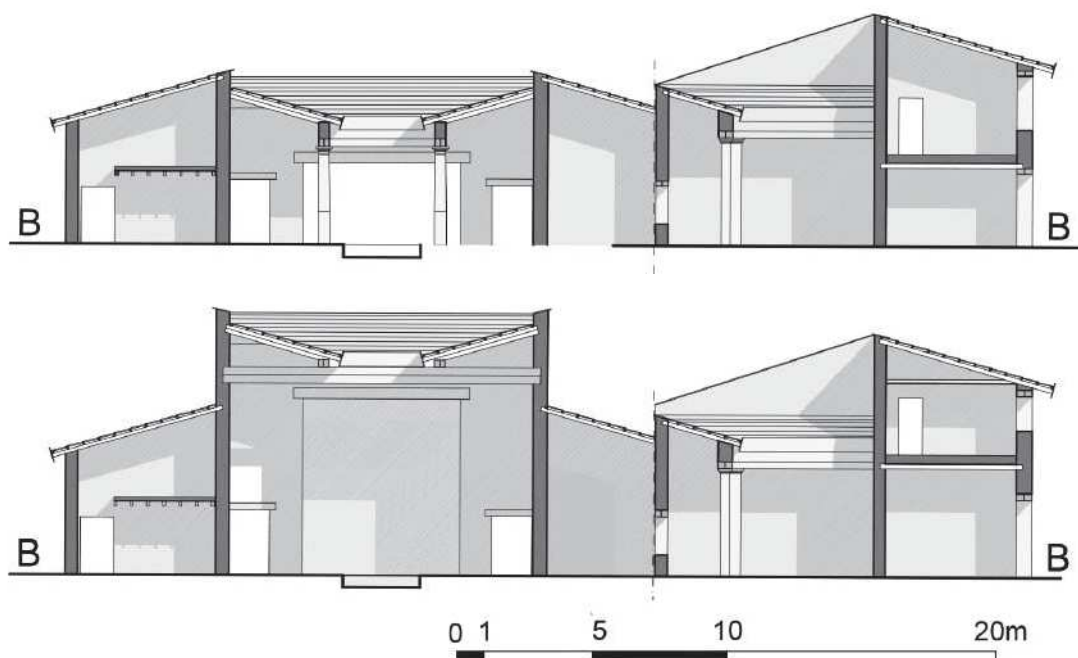


Figura 12.12: Sezione trasversale sull'atrio al numero 21 e sul peristilio *n*.

Nel corso della ricostruzione si è evidenziata un'altra discrepanza tra ragioni costruttive e fonti, soprattutto interpretative del testo vitruviano, per quanto riguarda la disposizione delle travi di compluvio. La formazione di un tetto comporta sempre che l'intersezione di due falde, per poter conservare la pendenza, avvenga secondo la bisettrice dell'angolo di incontro: così dovrebbe avvenire anche nel compluvio dell'atrio ma molte ricostruzioni e anche il lavoro dei commentatori spesso fanno corrispondere le intersezioni delle falde alle diagonali del rettangolo di pianta, ottenendo così falde con inclinazioni anche molto diverse e che tra l'altro non troverebbero corrispondenza con le tegole usate per i compluvi che sono di forma quadrata (Centola 2018). Pertanto la studiosa ha proposto una possibile variante ricostruttiva in cui le falde hanno uguale pendenza e le travi diagonali raggiungono le pareti lunghe e non i vertici dell'atrio.

12.3 Il progetto di ricostruzione

12.3.1 L'atrio al civico 18

L'atrio al civico 18 (lett. *b* in Fig. 12.7) è caratterizzato dalla presenza di lacerti murari di discreta altezza fuori terra (circa 5 m), soprattutto nel lato nord, confinante con la Casa dei Mosaici Geometrici, e nel tablino. Un'analisi di dettaglio rivela la presenza di un'ampia fascia di muratura (circa 2 m) di ricostruzione, appartenente probabilmente a quegli interventi di restauro che hanno interessato il complesso poco dopo la sua scoperta (Fig. 12.13). La muratura è per lo più in opera incerta o quasi reticolata di pietra lavica e tufo con i cantonali in mattoni a riseghe così da migliorare i collegamenti con i pannelli di muratura; in facciata i campi interni delle pareti sono invece in opera reticolata.

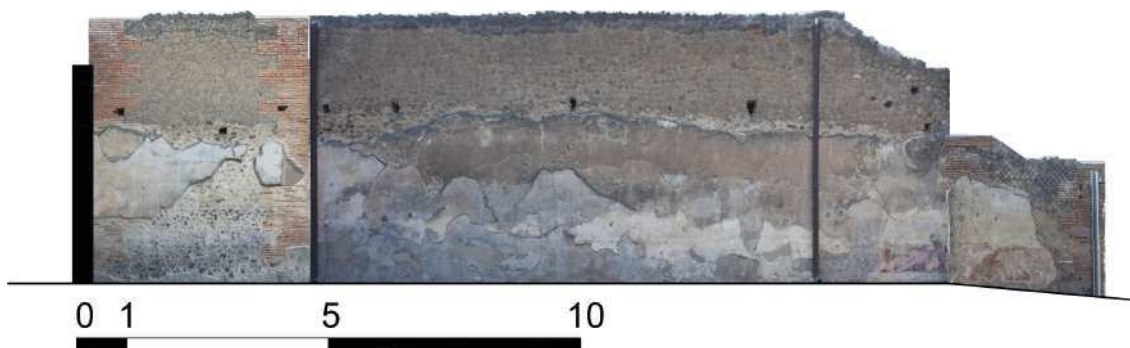


Figura 12.13: Restituzione fotogrammetrica della parete nord dell'atrio al numero 18

L'intervento combina la ricostruzione a fini riconfigurativi con la predisposizione di adeguati presidi sismici sulle murature esistenti.

Messa in sicurezza sismica

L'obiettivo dell'intervento di messa in sicurezza sismica è il ripristino della scatola muraria.

Si prevede la realizzazione di una nuova muratura a due teste in mattoni al di sopra di quella esistente per un'altezza tale da consentire la disposizione di almeno 6 corsi di mattoni al di sopra del punto più alto della cresta muraria esistente. Poiché la muratura sul lato sud dell'atrio è sensibilmente più bassa di quello sulla parete nord, sarà necessario procedere "a scalini" per contenere l'altezza della muratura di ricostruzione. Il minor spessore dell'aggiunta rispetto al lacerto archeologico consentirà poi di mascherarla mediante intonacatura o facendo proseguire il rivestimento architettonico previsto per la parte a telaio. La malta sarà di calce e pozzolana, priva di cemento per evitare efflorescenze e ottenere una rigidità più compatibile con la muratura archeologica.

L'anello murario serve a ripristinare il collegamento sommitale tra le pareti esistenti e, a maggior ragione, l'aggiunta di un rinforzo resistente a trazione (barre d'armatura o nastri in FRP) dovrebbe contribuire ulteriormente. Questo può essere fornita inserendo nei letti di malta tralicci metallici, di quelli comunemente impiegati per la muratura armata, oppure ferri filanti o ancora mediante nastri in FRP applicati sulla superficie esterna mediante

resine. In ogni caso l'armatura dovrà essere di sezione assai ridotta (massimo $\varnothing 6$) per non inspessire eccessivamente i letti di malta e per garantire la necessaria duttilità.

Tuttavia una simile soluzione presuppone la continuità sul piano orizzontale del rinforzo ma, nel caso specifico dell'atrio *b*, le murature sul lato sud sono di circa 2 m più basse di quelle sul lato nord, risultando in un intervento inaccettabile.

Nell'ipotesi di rifiutare questa soluzione, come si è fatto qui, la muratura nuova è quella sufficiente a ripianare l'appoggio ed è dotata di una minima armatura longitudinale. La continuità dell'elemento in grado di resistere a trazione viene allora garantita dal profilato di fondo del telaio strutturale superiore, collegamento puntualmente al cordolo. Se si volesse invece procedere a ricostruire la parete per l'altezza richiesta, sarebbe sufficiente armare solo la parte più alta così da essere comune all'intera scatola muraria. Cordoli di questo tipo hanno dimostrato sul campo il buon comportamento al sisma in occasione del terremoto Centro Italia 2016: grazie al peso e alla rigidezza simili a quelli della muratura sottostante riescono efficacemente a "chiudere" la struttura in sommità a differenza dei cordoli in acciaio o in cemento armato di vecchia concezione.

L'ancoraggio della struttura a telaio al cordolo è garantito da squadrette metalliche imbullonate superiormente ai profili a C abbinati, formanti la briglia inferiore del telaio, e inferiormente ad una barra filettata sporgente dal cordolo. Queste barre sono inserite ad intervalli regolari all'interno di sorta di "tasche" verticali di malta ricavate nella muratura di mattoni tramite un'opportuna disposizione degli elementi. Si preferisce la soluzione a barre singole rispetto a quelle a gruppo (cfr. Cap. 11) per dare maggiore diffusione e minor impegno strutturale al collegamento, che non potrebbe comunque esercitare un grado di vincolo particolarmente elevato data l'esilità della muratura di ricostruzione.

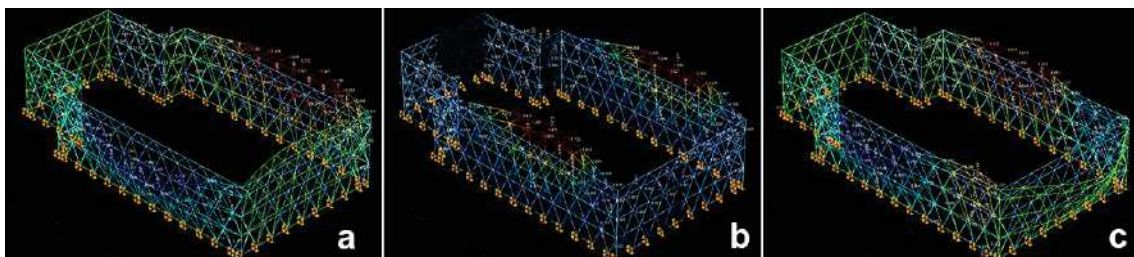


Figura 12.14: Prime tre forme modali della struttura a graticcio formante le pareti della ricostruzione

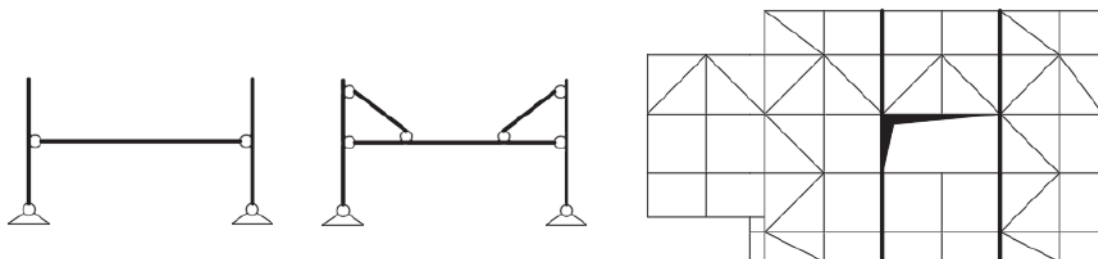


Figura 12.15: Schema strutturale con e senza la partecipazione della struttura del tetto e schema strutturale del traliccio di controventamento inserito nel controsoffitto

La nuova struttura

Lo spessore di appena 40 cm (1,5' oschi) delle murature archeologiche sopravvissute obbliga ad adottare una struttura a graticcio piano monostrato a maglie triangolari, posto in verticale e piegato ai vertici per formare le pareti. A livello di funzionamento strutturale, questa imposizione alla struttura si deve confrontare con la notevole altezza raggiunta dalla ricostruzione secondo le indicazioni provenienti dal trattato vitruviano.

In accordo con le indicazioni provenienti dalla letteratura (cfr. Cap. 6) la struttura in pultruso è realizzata interamente con aste composte, formate da profilati a C accoppiati mediante imbottiture in GFRP imbullonate e mediante le piastre in composito che servono da collegamento con i diagonali, anch'essi a sezione a C. Rispetto ad una struttura in acciaio di uguale concezione, i collegamenti sono dimensionati con generosità, tenuto conto del fatto che non esiste redistribuzione delle forze nei giunti per effetto della plasticizzazione locale. La struttura nel complesso dovrebbe conservarsi elastica o presentare un limitatissimo sforamento in campo non lineare per effetto geometrico.

Così configurato, il telaio non offrirebbe particolare resistenza nella direzione perpendicolare al proprio piano medio, pertanto si cerca di attivare un comportamento tridimensionale tramite la struttura del tetto dell'atrio (Fig. 12.14).

Le due *trabes traiectae* che attraversano la larghezza dell'atrio sono ricostruite mediante travi reticolari incernierate superiormente alle due estremità. I correnti sono ottenuti ancora accoppiando, tramite le piattine formanti i diagonali, due profilati a C. A dispetto delle ricostruzioni normalmente visibili a Pompei viene inserito un controsoffitto che serve per fornire il controventamento orizzontale alla struttura. Questo, in combinazione con il sistema di travi del tetto permette di generare un sistema fisso anche per carichi orizzontali, che è quanto qui interessa a fini sismici (Fig. 12.15).

Il telaio verrebbe rivestito da una pannellatura in FRP della finitura ritenuta più opportuna. Anche la copertura è realizzata in grandi profilati a U uniti mediante appositi profili sagomati così da rievocare la copertura in tegole alla romana.

L'ambiente in esame non presenta una pavimentazione di pregio, tuttavia si è sottolineata altrove nella tesi l'esistenza del conflitto tra l'esigenza di limitare l'accesso ai visitatori, consentire la manutenzione e assieme garantire abbastanza libertà al percorso di visita. La soluzione qui proposta è quella di una passerella sospesa alle due travi trasversali dell'atrio che funzioni come un carroponete e quindi possa essere mossa. Ciò consentirebbe durante la visita, una volta caricati i visitatori, di potersi spostare sulle zone più significative del pavimento, sia di poterla spostare durante la manutenzione. Nel caso specifico la passerella è mobile solo durante le operazioni di manutenzione; in situazione normale consente semplicemente la penetrazione in profondità all'ambiente (Fig. 12.16).

Dal punto di vista della gestione del microclima interno, si sfrutta la pannellatura esterna e interna per creare un'intercapedine aerata con funzione isolante. Nella parte inferiore e superiore degli alzati ricostruiti sono presenti fasce di altezza limitata in cui il rivestimento è interrotto da lamelle fisse che consentono l'ingresso di aria più fresca dall'esterno e l'espulsione dell'aria calda interna per consentire il raffrescamento passivo dell'ambiente in estate. Nella stessa intercapedine passano gli impianti elettrici per l'illuminazione interna e i pluviali che raccolgono l'acqua proveniente dal compluvio (Fig. 12.17).

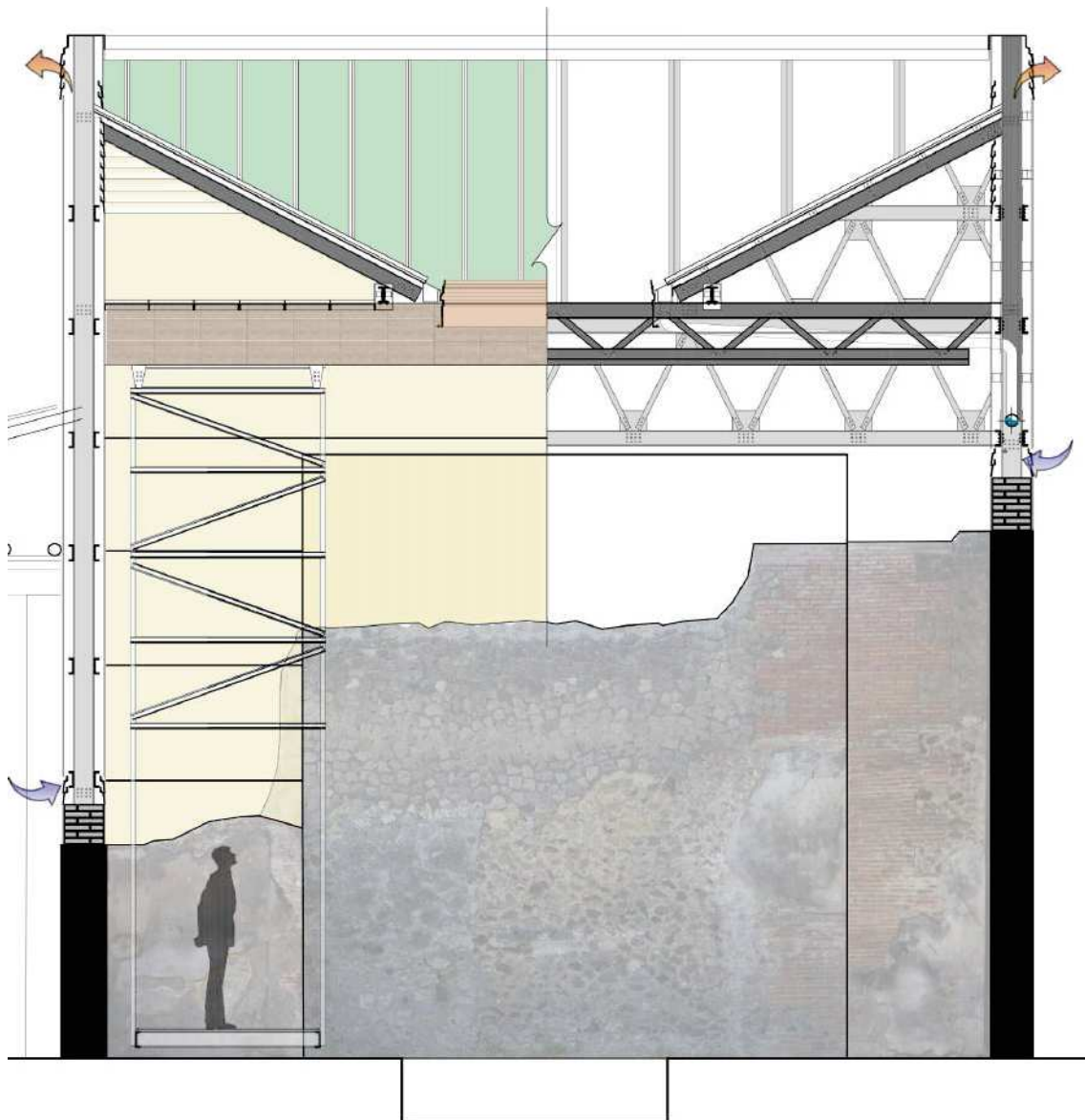


Figura 12.16: Sezione trasversale dell'atrio *b* con l'intervento di copertura

12.3.2 La casa a peristilio

La procedura di preprogettazione descritta al Cap. 10 è stata applicata al settore residenziale d'angolo, completando così con l'applicazione la parte generale dell'algoritmo. Lo schema della struttura portante verticale differisce da quello adottato per la ricostruzione dell'atrio di tipo *stick-build* e corrisponde invece al sistema a telaio ottenuto dall'accoppiamento di profilati a C. La copertura è del tipo a graticcio di travi reticolari piane; le pareti infine sono configurate come telai controventanti il telaio staccati da terra di circa un metro, quanto si alzano i lacerti murari ancora in sito.

L'algoritmo parametrico genera la struttura a partire da quattro punti base e poi ogni

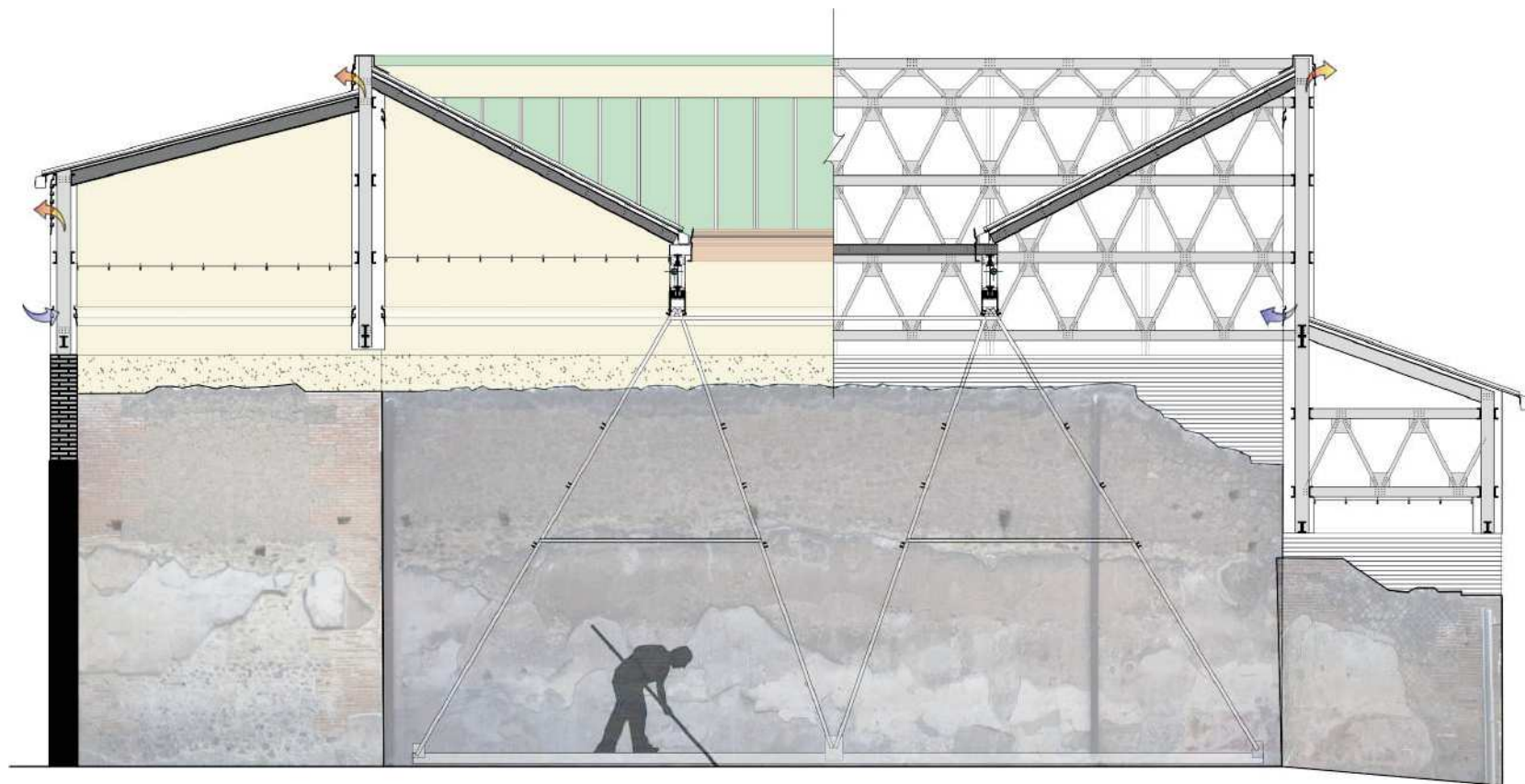


Figura 12.17: Sezione longitudinale dell'atrio *b* con l'intervento di copertura

elemento (pareti, sporto di gronda, altezza della faccia superiore della falda in corrispondenza del pilastro) è modificabile a piacimento, compresa la possibilità di escluderlo dal modello. Pertanto la volumetria della fabbrica proposta da Centola (2018) è ottenuta da più “padiglioni” affiancati, determinati dall’andamento delle murature esistenti. I moduli sono stati così individuati (Fig. 12.7, 12.18):

Modulo 1 : per gli ambienti a sud q, r, s ;

Modulo 2 : per gli ambienti a sud t, u, v ;

Modulo 3 : per gli ambienti a sud w, p ;

Modulo 4 : per gli ambienti a nord l, o, p ;

Modulo 5 : per gli ambienti y, x, z ;

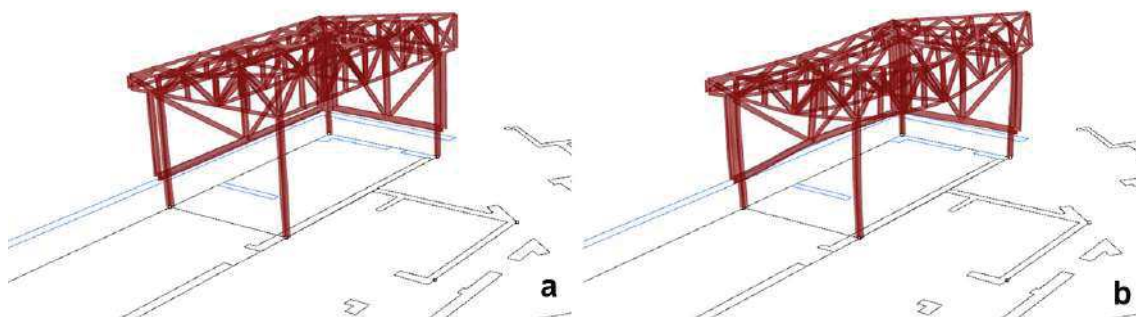


Figura 12.18: Vista di uno dei padiglioni componenti la copertura: a) modello geometrico; b) configurazione deformata (50x) per i carichi di esercizio e ambientali (da Basso 2018)

L’altezza di intradosso è stata fissata a 5,50 m, simulando due piani fuori terra, la falda superiore è inclinata verso l’esterno.

Una volta creati nel software di modellazione i padiglioni e impostata l’altezza voluta e l’inclinazione delle falde è stata avviata l’analisi di ottimizzazione strutturale mediante il plug-in Octopus. La funzione obiettivo cerca di minimizzare la massa e la freccia dell’elemento più deformato, alla ricerca di una struttura stabile ma al contempo leggera, quindi compatibile con la sua applicazione sul sito archeologico. Ogni processo di ottimizzazione ha generato più di 800 combinazioni, suddivise in 100 generazioni dotate ciascuna di una popolazione di 80 configurazioni diverse. La spaziatura delle travi reticolari, la suddivisione delle stesse e la suddivisione dei telai controventanti è determinata esclusivamente dall’algoritmo di ottimizzazione.

Eseguita l’ottimizzazione e le verifiche, ad esempio secondo quanto proposto al Cap. 10, se queste sono soddisfatte, non dovrebbe essere più necessario modificare il modello e si procede al *baking*, cioè alla sua trasformazione in oggetti propri del software di modellazione che possono essere modificati tramite i comandi di quest’ultimo (Fig. 12.19).

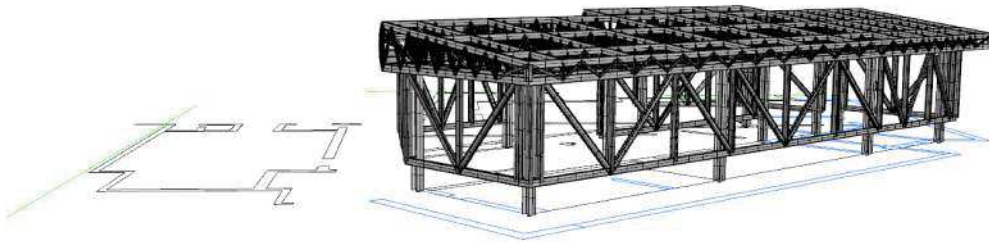


Figura 12.19: Vista del padiglione di copertura trasformato in un modello Rhino (da Basso 2018)

12.4 Osservazioni finali

Le *domus* del complesso delle Terme del Sarno rappresentano un interessante caso di applicazione della metodologia sin qui proposta a causa della particolarità geometrica del complesso, determinato dall'annessione di più settori residenziali in epoche diverse rispondenti a diversi schemi progettuali. La lettura formale della casa descritta al Cap. 8 è risultata applicabile anche in questo contesto, individuando una rigorosa costruzione geometrica anche se in apparenza non sembrava essercene alcuna. A partire dalla struttura della pianta, vengono utilizzate le indicazioni vitruviane per la ricostruzione degli alzati, ottenendo un risultato significativamente diverso da quello ottenuto sulla base della consistenza strutturale in occasione di studi precedenti.

La nuova struttura di ricostruzione viene applicata al di sopra di uno dei due atrii di ingresso all'abitazione e nella casa a peristilio affacciata sul Golfo, utilizzando due diverse soluzioni costruttive in profilato pultruso: a telaio per la casa, a graticcio per l'atrio.

La ricostruzione della casa a peristilio risulta dall'applicazione della programmazione visuale e della modellazione parametrica secondo quanto descritto al Cap. 10 e viene utilizzato per valutarne l'applicabilità ad un contesto reale. Ulteriori valutazioni permetteranno di studiare la distribuzione dei percorsi di visita interni e l'allestimento museale.

Nella zona dell'atrio invece viene indagata oltre alla definizione della struttura anche la gestione del sistema di rivestimento ai fini della presentazione e della climatizzazione passiva dell'ambiente. Ripristinato il collegamento sommitale delle murature archeologiche tramite un cordolo murario e il corrente inferiore del graticcio, il controventamento orizzontale viene ottenuto tramite le travature del tetto e del controsoffitto dell'atrio. Il rivestimento in pannelli di FRP coibentati garantisce uniformità visiva, nasconde le necessarie dotazioni tecnologiche, ripristinando la spazialità dell'ambiente antico.

Conclusioni

L'intervento sul sito archeologico non può in realtà prescindere dal considerare in modo globale i numerosi e non sempre chiaramente definibili fattori che partecipano alla definizione del suo valore. Solo uno sguardo davvero comprensivo consente di poter intraprendere un'azione efficace non solo dal punto di vista della sopravvivenza fisica del materiale archeologico, bensì della trasmissione del senso di quanto viene preservato. La disseminazione del significato culturale diventa allora tanto più importante in un contesto globale di progressiva riduzione dell'intervento pubblico nel settore del patrimonio, poiché permette di coinvolgere i privati in quanto spettatori consapevoli e attori della promozione del sito e così favorire il mantenimento a lungo termine.

La conservazione *in situ*, ammesso che sia possibile e ragionevole rispetto alle condizioni stesse del sito, è risultata nel tempo la migliore opzione per la trasmissione del messaggio culturale nel modo più diretto e completo. Si tratta tuttavia di una scelta importante, in cui la soggettività del decisore deve essere sostenuta da un adeguato fondamento tecnico, al punto che alcuni studiosi la descrivono come una decisione "etica". Il materiale archeologico in effetti rimane esposto a continue aggressioni di origine naturale o antropica che non si avrebbero se si decidesse di rinterrare il sito oppure di trasportare quanto ritrovato in un museo. Non a caso esiste anche chi suggerisce di non ampliare oltre il patrimonio e dedicarsi piuttosto a recuperare e a mantenere quello già acquisito. Anche un intervento apparentemente neutro perché non indirizzato ad alterare la materia, come la copertura di un sito archeologico, non lo è in realtà perché le modifiche che esso apporta al contesto — fisico, umano, ambientale — si ripercuotono sul materiale archeologico. Quindi è un intervento di restauro a pieno titolo, di cui valutare attentamente gli esiti e le premesse.

La prima parte della tesi è dedicata all'individuazione e alla quantificazione della situazione attuale in merito allo stato di conservazione dei siti archeologici e agli interventi di valorizzazione con la finalità di esprimere una valutazione ma soprattutto poter individuare i criteri utili per il progetto.

Dall'analisi del rischio risultano evidenti due situazioni: l'aggressione antropica o l'inadeguatezza di certe configurazioni appaiono più pericolose del normale degrado ambientale; l'effetto della copertura è tutt'altro che benefico ai fini della conservazione. Tra gli agenti naturali invece il maggior ruolo è svolto dall'acqua nella sua interazione con i materiali porosi di cui si compongono i beni culturali, mentre la sismica può essere ritenuto un problema per certi aspetti secondario.

Queste conclusioni trovano conferma nella fase di valutazione e analisi di un campione estratto dall'ampilissimo parco di coperture archeologiche corrispondenti alle più diverse

configurazioni architettoniche e conservative.

Il filtro di una lettura a carattere tecnico, secondo gli strumenti della progettazione prestazionale ha permesso di individuare un principio di ordine nel coacervo di informazioni raccolte. Si parte dunque dall'esplicitazione dei bisogni, manifestati in primo luogo dal sito — ammesso che possa parlare così chiaramente —, dalle figure professionali attive sul sito (archeologi, conservatori, architetti, ingegneri) e dai fruitori. I bisogni, espressi in forma di esigenze formalizzate, trovano risposta in requisiti del progetto, rispetto ai quali le caratteristiche delle soluzioni tecnologiche prescelte devono fornire prestazioni adeguate. Solo in forza di queste fasi successive di analisi, qualificazione e valutazione l'intervento di "copertura archeologica" può diventare un vero progetto di conservazione a tutto tondo e non una semplice tettoia sopra un enigmatico assemblamento di pietre.

Tra le principali esigenze individuate spiccano: a) la riduzione dell'impatto sulla stratigrafia archeologica (leggerezza, ampie luci strutturali, assenza di getti in conglomerato e scavi di fondazione); b) la stabilità dell'ambiente di conservazione (confinamento, isolamento, condizionamento); c) la protezione fisica dei beni (confinamento, regolamentazione del percorso); d) il supporto alla fruizione del pubblico (pannelli didattici, riambientamento, ricostruzione evocativa).

Risulta dunque chiaro che l'intervento di copertura deve poter muovere da una adeguata programmazione e da obiettivi chiaramente definiti, forse già al momento di intraprendere lo scavo. La generica espressione di "linee guida per il progetto", per quanto utile, non è sufficiente per arrivare a conclusione, perché la complessità delle istanze è tale da non poter essere gestita secondo una procedura tradizionale.

L'obiettivo della tesi si è quindi modificato a seguito di questo risultato: dalla proposta di un sistema costruttivo a un metodo per poter progettare un sistema costruttivo per salvaguardare e presentare i siti archeologici.

La seconda parte della tesi si concentra pertanto proprio sulla elaborazione della metodologia necessaria per arrivare alla progettazione del sistema.

Individuata la casa romana come un ambito di studio archeologico relativamente ristretto, diffuso sull'intero territorio nazionale e caratterizzato da una certa coerenza interna ma anche da una notevole variabilità, si è cercato di pensare un sistema così flessibile da poter coprire, in potenza, uno qualsiasi di questi edifici. La partenza è la ricerca di un rapporto puramente geometrico tra la nuova struttura e l'antico, fondata sulla possibilità di individuare uno schema geometrico di fondo. Limitando ancora l'ambito di studio al caso di Pompei antica, è stato possibile riconoscere effettivamente nelle abitazioni private di quella città, oltre alla presenza di una precisa struttura spaziale, il diffuso impiego di schemi compositivi delle piante sulla base di costruzioni geometriche semplici, corrispondenti a quelle rinvenibili anche nell'edilizia pubblica e nel trattato di Vitruvio. Questi schemi servono per poter sperimentare le diverse soluzioni di copertura *in vitro*, su schemi ideali ma esistenti nella realtà, coerenti ma privi di quei "difetti" che sono dovuti all'adattamento alle contingenze e ostacolano lo sviluppo di una soluzione ad ampio spettro.

Per poterla proporre, in modo che si adatti ai diversi schemi e alle variazioni consentite all'interno di ciascuno di essi, non è possibile ricorrere alla procedura di progettazione tradizionale, del tipo *trial-and-error* poiché il numero di variabili in gioco è elevatissimo

e sarebbe impossibile controllarne gli esiti. Allora non rimane che integrare le variabili già all'inizio del processo di progettazione e utilizzare strumenti in grado di generare una forma a partire dai valori assunti da queste variabili. Ciò è possibile tramite la modellazione cosiddetta parametrica resa disponibile tramite software di programmazione visuale quali Grasshopper o Dynamo disponibili come plugin di software di modellazione implicitamente parametrici.

Questa tecnica consente di ottenere i solidi nel software genitore attraverso i loro elementi generatori (ad esempio il cilindro dato il raggio di base e l'altezza) piuttosto che tramite input diretto dall'utente. Nella gestione parametrica, i dati di partenza sono trasformati in scale graduate e la successione di comandi e operazioni viene tradotta in un algoritmo (secondo la tecnica del *visual programming*) in modo da poter aggiornare in tempo reale il risultato nel software genitore.

Tramite Grasshopper è stato possibile ridefinire la geometria delle case pompeiane, rendendola variabile su base parametrica, e, a partire da questa, sovrapporre la nuova struttura tenendo conto delle innumerevoli variazioni cui può essere sottoposta: dalla posizione dei pilastri di appoggio nella maglia strutturale, al loro posizionamento di precisione all'interno di una "zona di transizione" che consente una tolleranza nelle due direzioni; dalla possibilità di variare l'altezza dei montanti strutturali alle gestione di falde con diverse inclinazioni.

L'annidamento dei plugin, con diverse funzionalità, permette la flessibilità e la completezza della procedura. Karamba consente di eseguire le necessarie valutazioni statiche in tempo reale con le variazioni della geometria; Geometry Gym permette l'esportazione verso software di calcolo propriamente detti o software BIM tramite lo standard .ifc; Galapagos consente infine studi di ottimizzazione multiparametrica grazie ad algoritmi genetici, in questo caso di tipo strutturale.

Gli strumenti descritti permettono quindi di preprogettare una soluzione, cioè valutare a quali esiti potrebbe condurre il rispetto di tutte le prescrizioni sin qui individuate. Spetta poi al progettista di affinare la soluzione e effettuare le verifiche — strutturali, ambientali, gestionali — necessarie affinché il sistema possa dirsi effettivamente affidabile.

Si arriva finalmente alla visualizzazione della soluzione costruttiva. Il concept scaturisce dalla consapevolezza del fatto che il rudere ha perso, per dirla con termine moderno, il proprio involucro, cioè l'elemento che separa l'interno dall'esterno e che crea la relazione tra l'edificio e il fruitore, tra l'edificio e l'intorno. In questo senso, la copertura da sola non è sufficiente a ripristinare un adeguato grado di separazione tra interno ed esterno e la parete non si può ridurre ad una semplice "pelle" (foglio, telo, lamina) magari semitrasparente: l'involucro deve essere continuo, su tutti i lati fuori terra della rovina, e deve poter avere una consistenza fisica, poiché, in effetti deve poter: garantire la conservazione materiale dei beni (strutture e oggetti); garantire il necessario supporto alla riconfigurazione/presentazione del sito; offrire supporto statico alle due funzioni precedenti e, se necessario, alle stesse rovine archeologiche. Le tre funzioni corrispondono a tre elementi del sistema, rispettivamente, l'involucro esterno; l'involucro interno, la struttura portante vera e propria.

Tuttavia già a prima vista è evidente che un sistema costruttivo in grado di rispondere effettivamente a *tutti* questi aspetti e per di più di fare fronte all'enorme variabilità geome-

trica del rudere risulterebbe alternativamente in un sistema estremamente chiuso oppure talmente variabile da non potersi nemmeno dire un "sistema". Inoltre, la sua disponibilità sarebbe strettamente subordinata alla produzione industriale e non è pensabile che la domanda possa essere così sostenuta da contenere i costi di produzione e indurre a miglioramenti costruttivi.

Pertanto, si è deciso di proporre un sistema che assembla le risposte ai diversi problemi individuati utilizzando in parte soluzioni tecnologiche esistenti e adattandole al contesto archeologico in parte soluzioni nuove. L'impiego di materiali edili esistenti riguarda in particolare le strutture di fondazione, mentre le strutture fuori terra sono realizzate tramite nuove proposte costruttive utilizzando i profilati pultrusi. La loro applicazione è consentita sia in rapporto alla protezione sismica del sito, sia in rapporto alla semplice ricostruzione.

Conclude il percorso di tesi l'applicazione della metodologia descritta al caso delle *domus* appartenenti al complesso delle Terme del Sarno di Pompei. La lettura formale della casa descritta ha saputo trovare validità anche in questo contesto, individuando una rigorosa costruzione geometrica anche laddove in apparenza non sembrava essercene alcuna. A partire dalla struttura della pianta, le indicazioni vitruviane hanno suggerito una ricostruzione degli alzati significativamente diversa da quella proposta in un recente lavoro di tesi sulla base della consistenza delle strutture murarie superstiti e che dovrà essere adeguatamente esplorata dal punto di vista strutturale. La nuova struttura viene applicata al di sopra di uno dei due atrii di ingresso all'abitazione e nella casa a peristilio affacciata sul Golfo, utilizzando due diverse soluzioni costruttive in profilato pultruso: a telaio per la casa, a graticcio per l'atrio. Entrambi gli interventi cercano di rispondere al problema conservativo e quello fruitivo, con un occhio di particolare riguardo per la messa in sicurezza sismica e la gestione climatica interna con il funzionamento di tipo passivo.

Alcuni problemi rimangono ancora aperti come l'approfondimento del funzionamento climatico della copertura, in rapporto ai criteri di conservazione previsti dalla normativa prestazionale, il completamento del progetto architettonico per quanto riguarda l'allestimento museale dell'intero complesso, infine l'approfondimento dell'interazione strutturale tra muratura e struttura in pultruso.

Si spera pertanto che questo lavoro possa essere di stimolo per la prosecuzione degli studi a carattere generale e l'avvio di queste ricerche di maggior dettaglio al fine di poter arrivare ad un metodo valido e condiviso.

Bibliografia

Fonti

- Architettura* (2010). Trad. da S. Ferri. Milano: BUR.
- De re rustica* (1935). Trad. da A. Santoro. Altamura: F.lli Portoghese.
- Opere di Marco Terenzio Varrone* (1974). Trad. da A. Traglia. Torino: UTET.
- Storia di Roma* (1994). Trad. da G. Reverdito. Milano: Garzanti.
- Storie Naturali* (2010). Trad. da S. Ferri. Milano: BUR.

Normativa

- Ascione, L. et al. (2016). *Prospect for New Guidance in the Design of FRP Structures*. Report EUR 27666 EN. DOI: doi : 10 . 2788 / 22306.
- Behlen (2010). *Behlen Design Guide*. Brandon, CN: Behlen Industries LP. URL: www.behlen.ca.
- Bernardini, A., R. Gori, C. Modena, M. R. Valluzzi e M. Munari (2010). *Manuale d'uso del Programma Vulnus Vb 4.0 PRO. Procedura automatica per analisi di vulnerabilità sismica di edifici in muratura*. Università degli Studi di Padova.
- Consiglio d'Europa (1975). *Carta europea del patrimonio architettonico*. Amsterdam.
- UNESCO (1990). *Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage*. Losanna.
- Clarke, J. L., cur. (1996). *Structural Design of Polymer Composites. EUROCOMP Design Code and Handbook*. London: EFN SPON.
- CNR (2007). CNR DT 205:2007 *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture realizzate con Profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche. URL: <https://www.cnr.it/it/node/2625>.
- CEN (2013). *Conservation of Cultural Heritage - Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions*. CEN/TS.
- CIE (2004). *Control of damage to museum objects by light*. CIE.
- Consiglio d'Europa (2000). *Convenzione europea del Paesaggio*. Firenze.
- Consiglio d'Europa (1992). *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio archeologico*. Malta.
- UNESCO (2003). *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale*. Paris.
- UNESCO (2005). *Convenzione sulla protezione e la promozione della diversità delle espressioni culturali*. Paris.

- NTC (2018). D.M. 17/01/2018, *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle infrastrutture e dei trasporti.
- MIBACT (2000). D.M. 25/07/2000 *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*. Ministero per i beni e le attività culturali.
- DPCM (2011). D.P.C.M. 09/02/2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008*. Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- Fibergrate (2009). *Dynaform FRP Structural Shapes Design Guide*. Dallas, TX: Fibergrate. URL: <http://www.fibergrate.com/media/3843/dynaformdesignguide.pdf>.
- CEN (2002). EN 13706-2 *Reinforced plastics composites - Specifications for pultruded profiles - Part 2: Methods of test and general requirements*. Comitato Europeo di Normazione. URL: <http://www.crype.es/documentos/Norma%20europea%20EN13706-2%20DS%20EN%202002.pdf>.
- CEN (2010). EN 15757 *Conservation of Cultural Property e Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*. Comitato Europeo di Normazione.
- Ferrini, A., A. Melozzi, A. Pagliuzzi e S. Scarparolo (2003). *Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello. Versione modificata dalla Regione Toscana*. Regione Toscana.
- Consiglio d'Europa (2005). *Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society*. Faro.
- ICOMOS (2010). *New Zealand Charter for the Conservation of Places of Cultural Heritage Value*.
- ASCE (2010). *Pre-Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) of Pultruded Fiber Reinforced Polymer (FRP) Structures*. ASCE. URL: <http://dev1.kreysler.com/information/specifications/specs-resources/LRFD%20PreStandard%20-%20Revised%20FINAL%20-%20Nov%209%202010.pdf>.
- UNESCO (1972). *Recommendation Concerning the Protection at National Level of the Cultural and Natural Heritage*. Paris.
- UNESCO (1972). *Recommendation Concerning the Safeguarding and Contemporary Role of Historic Areas*. Nairobi.
- UNESCO (1962). *Recommendation concerning the Safeguarding of Beauty and Character of Landscapes and Sites*. Paris.
- ICOMOS (1999). *The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance*. Burra.
- UNESCO (1954). *The Hague Convention for the Protection of Cultural Property in the Event of Armed Conflict*. The Hague.
- ICOMOS (2008). *The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*. Quebec.
- ICOMOS (1964). *The International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites*. Venezia.
- ICOMOS (1994). *The Nara Document on Authenticity*. Nara.

Testi di carattere generale

- (1996). *Conservación in situ* (1990). ICCROM. Palencia.

- Abbate, G. e M. Pagano (1980). «Teoria del "giunto nullo"». In: *Prefabbricare - Edilizia in evoluzione* 4, pp. 29–31.
- Accardi, A. R. D. (2012). *La presentazione dei siti gallo-romani. Conservare, proteggere e musealizzare*. Palermo: Offset Studio.
- Acciaierie Dalmine (1981). «Space Dal- Strutture spaziali per un nuovo design negli anni '80». In: *Acciaio* 24.1, pp. 10–13.
- Adam, J. P. (1990). *L'arte di costruire presso i romani*. Trad. da M. P. Guidobaldi. Milano: Longanesi.
- Agnew, N. (2001). «Methodology, conservation criteria and performance evaluation for archaeological site shelters». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 5, pp. 7–18.
- Agnew, N. e J. Brigland, cur. (2006). *Of the Past, for the Future: Integrating Archaeology and Conservation*. Proceedings of the Conservation Theme at the 5th World Archaeological Congress, Washington, D.C. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Agnew, N., S. Maekawa, R. Coffmann e J. Meyer (1996). «Evaluation of the performance of a lightweight modular site shelter. Quantitative meteorological data and protective indices for the 'hexashelter'». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 1, pp. 139–150.
- Al Helo, M. Z., M. S. Al-Massri, H. H. Abu-Assi, M. J. Hammouda e I. T. Joma (2016). «Experimental study of structural behavior of mesh-box Gabion». Tesi triennale. Gaza: University of Palestine. URL: <http://dspace.up.edu.ps/xmlui/handle/123456789/228>.
- Alagna, A. (2008). «Franco Minissi. Restauro e musealizzazione dei siti archeologici in Sicilia». Tesi di dottorato. Università degli Studi di Napoli Federico II. URL: <http://www.fedoa.unina.it/id/eprint/3224>.
- Alef, Y. (2002). «Evaluation of Shelters over Mosaics in Israel». Tesi magistrale. Katholieke Universiteit Leuven.
- Amendolea, B., cur. (1988). *I siti archeologici: un problema di musealizzazione all'aperto*. Atti del primo seminario di studi. Roma: Multigrafica Editrice.
- Amendolea, B., R. Cazzella e L. Indrio, cur. (1995). *I siti archeologici: un problema di musealizzazione all'aperto*. Atti del secondo seminario di studi. Roma: Multigrafica Editrice.
- Anderson, M. (2005). «Houses, GIS and the Micro-Topology of Pompeian Domestic Space». In: *Proceedings of the Fourteenth Annual Theoretical Roman Archaeology Conference*. A cura di J. Bruhn, B. Croxford e D. Grigoropoulos. Oxford: Oxbow books.
- Argan, G. C. (1966). «voce Tipologia». In: *Enciclopedia dell'Arte antica*. Vol. XIV, Tipologia-Zurbaran.
- Aslan, Z. (1997). «Designing protective structures at archaeological sites. Criteria and environmental design methodology for a proposed structure at Lot's Basilica, Jordan». In: *Journal of Conservation and Museum Studies* 3, pp. 16–20. DOI: <http://doi.org/10.5334/jcms.3974>.
- (2001). «Protective Structures for the Conservation and Presentation of Archaeological Sites». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 5, pp. 73–85.
- Aslan, Z., S. Court, J. M. Teutonico e J. Thompson, cur. (2018). *Protective shelters for archaeological sites*. Atti del convegno (2013-09-23/27). Ercolano: Getty Conservation Institute.

- Augè, M. (2004). *Rovine e macerie. Il senso del tempo*. Trad. da A. Serafini. Torino: Bollati Boringhieri.
- Avrami, E., R. Mason e M. de la Torre, cur. (2010). *Values and Heritage Conservation*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Bacchiocchi, A. e R. Radi (1988). «Edificio per lavorazione terre in un'azienda agricola con copertura in struttura spaziale CARMES». In: *Acciaio* 29.5, pp. 222–227.
- Bangash, M. Y. H. e T. Bangash (2003). *Elements of Spatial Structures – Analysis and Design*. A cura di Thomas Telford. London.
- Bank, L. C. (2006). *Composite for construction: Structural Design with FRP Materials*. A cura di John Wiley e Sons. Hoboken, NJ.
- Barou, L., T. Bristogianni, F. Oikonomopoulou e F. Veer (2019). «Structural glass: A new remedial tool for the consolidation of historic structures». In: *Heron* 63. URL: www.egramma.it/e0S2/index.php.
- Bartolone, R. (2013). «Dai siti archeologici al paesaggio attraverso l'architettura». In: *Engramma* 110, pp. 58–90. URL: www.egramma.it/e0S2/index.php.
- Basso, A. (2018). «Progettazione di sistemi a configurazione variabile per coperture di siti archeologici». Tesi di laurea. Padova: Università degli Studi di Padova.
- Bellini, F. (2004). *Le cupole di Borromini. La "scienza" costruttiva in età barocca*. A cura di Electa. Milano.
- Benedetti, D. e V. Petrini (1984). «Sulla vulnerabilità sismica degli edifici in muratura: un metodo di valutazione». In: *L'industria delle costruzioni* 149.
- Bentz, M. e C. Reusser, cur. (2010). *Etruskisch-italische und römisch-republikanische Häuser*. Wiesbaden: Reichert.
- Benvenuto, E. (1994). «La conoscenza e il progetto». In: *Restauro architettonico: il tema strutturale*. A cura di E. Benvenuto, F. Laner e V. Pastor. Trento.
- Bernardi, A. (2008). *Microclimate inside Cultural Heritage Buildings*. Padova: Il prato.
- Bernardi, L. e M. S. Busana (2019). «Journal of Cultural Heritage». In: 4: *Multidisciplinary study of the Sarno Baths in Pompeii*. A cura di L. Maritan, C. Previato e F. Lorenzoni. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.012>.
- Bernardi, L., M. S. Busana, V. Centola, C. Marson e L. Sbrogiò (2019). «Journal of Cultural Heritage». In: 4: *Multidisciplinary study of the Sarno Baths in Pompeii*. A cura di L. Maritan, C. Previato e F. Lorenzoni. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.011>.
- Bernardini, A., R. Gori e C. Modena (1990). «An application of coupled analytical models and experiential knowledge for seismic vulnerability analyses of masonry buildings». In: *Engineering aspects of earthquake phenomena*. A cura di A. Kortize. Oxford: Omega scientific.
- Bertozzi, M. e V. Capalbo (2009). «Riqualificazione di piazza Plauto e delle aree archeologiche di Sarsina». In: *Arkos* 19, pp. 28–33.
- Bikai, P. M. e P. Bikai (1997). «Caring for the Cultural Heritage: Shelter». In: *ACOR (America Center for Oriental Research) Newsletter* 9.1. URL: www.acorjordan.org/research/publications/acor-newsletters/.
- Biscontin, G. e G. Driussi, cur. (1996). *Dal sito archeologico all'archeologia del costruito. Conoscenza Progetto e Conservazione*. Atti del Convegno di Studi «Scienza e Beni culturali XII», Bressanone, luglio 1996. Padova: Arcadia Ricerche.
- Bizzarri, A., C. Ceccoli e P. P. Diotallevi (1979). *Indagine teorico-sperimentale sul comportamento statico, spinto fino a rottura, di strutture di gabbioni*. A cura di Donati. Parma.

- Boethius, A. e J. B. Ward-Perkins (1970). *Etruscan and Roman Architecture*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Bonetto, J., V. De Marco, C. Modena e M. R. Valluzzi (2009). «Dallo scavo alla fruizione: il consolidamento strutturale e la valorizzazione dell'area del foro». In: *Scavi di Nora*. Vol. I: *Nora il foro Romano. Storia di un'area urbana dall'età fenicia alla tarda antichità*. A cura di J. Bonetto, A. Ghiotto e M. Novello. Padova: Quasar Edizioni, pp. 455–471.
- Boscato, G. (2009). «Numerical Analysis and experimental Tests on dynamic Behaviour of GFRP pultruded Elements for conservation of the architectural and environmental heritage». Tesi di dottorato. Venezia: University of Nova Gorica.
- Boscato, G., C. Casalegno e S. Russo (2015). «Performance of built-up columns made by pultruded FRP material». In: *Composite Structures* 121, pp. 46–63. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.11.022.
- Boscato, G. e S. Russo (2014). «Dynamic parameters of pultruded GFRP structures for seismic protection of historical building heritage». In: *Key Engineering Materials* 624, pp. 461–469. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.624.461.
- Brandi, C. (1977). *Teoria del Restauro*. Torino: Einaudi.
- (2005). «Archeologia siciliana». In: *Il restauro: teoria e pratica, 1939-1986*. A cura di M. Cordaro. Roma.
- Bueno, M., V. Centola e A. R. Ghiotto (2012). «Le domus dei fondi ex Cossar e delle bestie ferite: due esempi di trasformazione delle case aquileiesi in età tardoantica». In: *Aquileia Nostra* 83/84, pp. 171–181.
- Bullo, S. e F. Ghedini, cur. (2003). *Amplissimae atque ornatissimae domus. L'edilizia residenziale nelle città della Tunisia romana*. Roma: Quasar.
- Busana, M. S. (2018). *L'edilizia abitativa nel mondo classico. Dalla fine del II millennio a.C. alla tarda antichità*. Roma: Carocci editore.
- Buti, G. (1962). *La casa degli Indoeuropei. Tradizione e archeologia*. A cura di Sansoni. Firenze.
- Cabello-Briones, C. e H. A. Viles (2017). «Evaluating the Effects of Open Shelters on Limestone Deterioration at Archaeological Sites in Different Climatic Locations». In: *International Journal of Architectural Heritage* 11.6, pp. 816–828. DOI: 10.1080/15583058.2017.1300710.
- Cacace, C., G. Capponi, M. C. Laurenti e N. Petrini (1996). «La protezione delle aree archeologiche, la domus dei Coiedii a Suasa». In: *Dal sito archeologico all'archeologia del costruito. Conoscenza Progetto e Conservazione*. Atti del Convegno di Studi «Scienza e Beni culturali XII», Bressanone, luglio 1996. A cura di G. Biscontin e G. Driussi. Padova: Arcadia Ricerche, pp. 413–420.
- Caioli, L. (1982). «Sistemi costruttivi per strutture reticolari spaziali». In: *Acciaio* 23.10, pp. 472–478.
- Calza, G., G. Becatti, I. Gismondi, G. de Angelis D'Ossat e H. Bloch (1953). *Scavi di Ostia. Topografia generale*. Vol. 1. Libreria dello Stato: Roma.
- Camporeale, S., E. Papi e L. Passalacqua (2008). «L'organizzazione dei cantieri edili a Volubilis (Mauretania Tingitana): iscrizioni e opere pubbliche, la Maison aux deux pressoirs e l'arco di Caracalla.» In: *Arqueologia de la construcción 1. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias occidentales*. A cura di S. Camporeale, H. Dessales e A. Pizzo. Merida: Instituto Arqueologia Merida.
- Camuffo, D. (2014). *Microclimate for Cultural heritage. Conservation, Restoration and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*. San Diego, CA: Elsevier.

- Caniggia, G. (1969). «voce Tipologia». In: *Dizionario enciclopedico di architettura e urbanistica*. A cura di P. Portoghesi. Vol. VI, Siracusa-Zwirner.
- (1975). *Strutture dello spazio antropico*. Firenze: Uniedit.
- Caniggia, G. e G. L. Maffei (1979). *Lettura dell'edilizia di base*. Venezia: Marsilio.
- Carandini, A. (1987). «Il restauro e lo scavo». In: *Anastilosi: l'antico, il restauro, la città*. A cura di F. Perego. Roma: Laterza, pp. 233–235.
- (2010). *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*. Torino: Einaudi.
- Carandini, A e P. Carafa, cur. (2013). *Atlante di Roma Antica*. Milano: Electa.
- Carbonara, G. (1987). «La reintegrazione dell'immagine». In: *Anastilosi: l'antico, il restauro, la città*. A cura di F. Perego. Roma: Laterza, pp. 81–85.
- (1997). *Avvicinamento al restauro*. Napoli: Liguori.
- Carver, M. (2003). *Archaeological value and Evaluation*. Mantova: Società archeologica padana.
- Castagnoli, F. (1959). «voce Centuriazione». In: *Enciclopedia dell'Arte antica*. Vol. IV.
- Cavalieri Manasse, G. e E. Roffia, cur. (1994). *Splendida civitas nostra. Studi archeologici in onore di Antonio Frova*. Roma: Quasar.
- Cecchi, R. e P. Gasparoli (2010). *Prevenzione e manutenzione per i beni culturali edificati. Procedimenti scientifici per lo sviluppo delle attività ispettive*. Firenze: Alinea.
- (2011). *La manutenzione programmata dei beni culturali edificati. Procedimenti scientifici per lo sviluppo di piani e programmi di manutenzione*. Firenze: Alinea.
- Centola, V. (2018). «I sistemi di copertura delle domus di età romana». Tesi di dottorato. Padova: Università degli studi di Padova.
- Cerulli Irelli, M. G. (1985). «Il problema delle coperture dei complessi archeologici di Pompei ed Ercolano attraverso due secoli e mezzo di scavi». In: *Restauro* 81, pp. 7–11.
- Chiaromonte Trerè, C. (1994). «Note in margine all'assetto edilizio e produttivo di Pompei in età ellenistica». In: *Splendida civitas nostra. Studi archeologici in onore di Antonio Frova*. A cura di G. Cavalieri Manasse e E. Roffia. Roma: Quasar, pp. 9–22.
- Cicchitelli, G. (2012). *Statistica principi e metodi*. Milano.
- Coarelli, F. (1983). «Architettura sacra e architettura privata nella tarda Repubblica». In: *Architecture et société, de l'archaïsme grec à la fin de la république romaine*. actes du Colloque international (feb. 1980). A cura di P. Gros. Centre National de la Recherche Scientifique et Ecole française de Rome. Roma.
- (1996). *Revixit ars: arte e ideologia a Roma : dai modelli ellenistici alla tradizione repubblicana*. Roma: Quasar.
- Coarelli, F. e F. Pesando (2011). «Journal of Roman Archaeology». In: *85: The making of Pompeii. Studies in the history and urban development of an ancient town*. A cura di S. J. R. Ellis, pp. 37–59.
- Conforto, M.L. e S. D'Agostino (1995). «Archaeological Ruins and Seismic Vulnerability». In: *Proceedings of the Italian-French Symposium on Strengthening and repair of Structures in Seismic Area* (ott. 1994). A cura di V. Davidovici e D. Benedetti. Nice, pp. 99–110.
- Correia, J. R., F. Branco, J. Gonilha, N. Silva e D. Camotin (2010). «Glass Fibre Reinforced Polymer Pultruded Flexural Members: Assessment of Existing Design Methods». In: *Structural Engineering International* 4, pp. 362–370. DOI: 10.1177/0731684414530790.
- Corsanego, A. (1995). «Seismic Vulnerability of the Architectonic Cultural Heritage». In: *Proceedings of the Italian-French Symposium on Strengthening and repair of Structures in Seismic Area* (ott. 1994). A cura di V. Davidovici e D. Benedetti. Nice, pp. 99–110.

- Corso, A. (2016). *Drawings in Greek and Roman Architecture*. Oxford: Archaeopress Archaeology.
- D'Agostino, S., C. F. Giuliani, M. L. Conforto e E. Guidoboni (2009). *Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la conservazione del costruito archeologico*. Napoli: Cuzzolin.
- D'Agostino, S. e A. Melucco Vaccaro (1996). «Il rudere archeologico: un contributo alla conoscenza della sua vulnerabilità». In: *Dal sito archeologico all'archeologia del costruito. Conoscenza Progetto e Conservazione*. Atti del Convegno di Studi «Scienza e Beni culturali XII», Bressanone, luglio 1996. A cura di G. Biscontin e G. Driussi. Padova: Arcadia Ricerche, pp. 29–37.
- Danzi, E. (2010). «Metodologie di indagine. La schedatura delle coperture archeologiche: alcune riflessioni sull'impostazione metodologica del progetto». In: *IUAV 81*. URL: <http://www.iuav.it/Ateneo1/chi-siamo/pubblicazioni/Catalogo-G/pdf-giorna/Giornale-Iuav-81.pdf>.
- De Albentis, E. (1990). *La casa dei Romani*. Milano: Longanesi.
- De Kind, R. E. L. B. (1998). *Houses in Herculaneum: a new view on the town planning and the building of insulae 3 and 4*. Amsterdam: J. C. Gieben.
- De La Torre, M., cur. (1997). *Conservation of Archaeological Sites in the Mediterranean Region*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- De Marinis, G. (1989). «Archeologia Urbana e conservazione: considerazioni generali». In: *Conservazione e manutenzione di manufatti edilizi ridotti allo stato di rudere*. A cura di M. Marino. Firenze: Opus Libri.
- De Nardo, E., A. Giliberti e M. Pagano (1979). «Strutture spaziali. Sperimentazione e teoria a diversi livelli di industrializzazione». In: *Costruzioni metalliche* 31.2, pp. 63–75.
- De Sessa, C. (1997). «Una copertura per ruderi benedettini, Roccaravindola (Isernia), architetto Franco Petacchia». In: *Architettura. Cronache e storia* 19.495-496, pp. 168–188.
- (1998). «Struttura di copertura, Isernia. Uccelli preistorici su ruderi romani». In: *Architettura. Cronache e storia* 19.510, pp. 6–11.
- De Vos, M. (1992). «La casa, la villa, il giardino. Tipologia, decorazione, arredi». In: *Civiltà dei Romani. Il rito e la vita privata*. A cura di S. Settis. Vol. III. Roma.
- De Waele, J. A. (1984). «Der römische Fuss in Pompeji: der Tempel des Juppiter Capitolinus». In: *Bullettin Antieke Beschaving. Annual Papers on Classical Archaeology* 59-1.
- Dessales, H. (2008). «Des usages de l'eau aux évaluations démographiques. L'exemple de Pompéi». In: *Histoire Urbaines* 22.2, pp. 27–41. DOI: 10.3917/rhu.022.0027.
- (2011). «Les savoir-faire des maçons romains, entre connaissance technique et disponibilité des matériaux. Le cas pompéien». In: *Les savoirs professionnels des gens de métier. Études sur le monde du travail dans les sociétés urbaines de l'empire romain*. 37. Napoli, pp. 41–63.
- (2012). «Not built in a day: awareness of vulnerability and construction techniques in Roman times». In: *Nuts and Bolts of Construction History: culture, technology and society*. A cura di R. Carvais, A. Guillerme, V. Nègre e J. Sakarovitch. Vol. 3. Paris: Picard, pp. 471–477.
- (2015). *Petit catalogue des techniques de la construction romaine*. Stage de formation a l'archéologie del la construction romaine. URL: <http://recap.huma-num.fr/webpublic/IMG/pdf/manuel.pdf>.

- Di Gravio, L. (1987). «Strutture reticolari spaziali "space-dal" e star-dal"». In: *Acciaio* 28.3, pp. 117–124.
- Di Muzio, A. (2007). «La *domus*». In: *Quale sicurezza per il patrimonio architettonico? A cura di A. Centroni*. Terni: Nuova Argos.
- (2010a). «Lo schema di linee guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico. Conoscenza, prevenzione, manutenzione». In: a cura di G. Biscontin e Driussi G. Vol. 26. Università di Padova, Dipartimento di scienze chimiche. Bressanone: Arcadia Ricerche, pp. 673–680.
- (2010b). *Rovine protette. Conservazione e presentazione delle testimonianze archeologiche*. Firenze: L'Erma di Bretschneider.
- Di Stefano, R. (1972). «La tutela dei beni culturali in Italia. Norme e orientamenti». In: *Restauro* 1, pp. 109–131.
- Dobbins, J. J. e P. W. Foss, cur. (2007). *The world of Pompeii*. New York: Routledge.
- Doglioni, F., cur. (2008). *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*. Venezia: marsilio.
- Doumas, C. G. (2013). «Managing the Archaeological Heritage: The Case of Akrotiri, Thera (Santorini)». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 15.1, pp. 109–120. DOI: 10.1179/1350503313Z.00000000050.
- Du Peloux, L., F. Tayeb, O. Baverel e J. F. Caron (mag. 2016). «Construction of a Large Composite Gridshell Structure: A Lightweight Structure made with Pultruded Glass Fibre Reinforced Polymer Tubes». In: *Structural Engineering International* 2, pp. 9–30. DOI: 10.2749/101686616X14555428758885.
- ECO Space Systems (1987). «Strutture reticolari spaziali "eco space system"». In: *Acciaio* 28.3, pp. 117–124.
- EdilCOOP (1987). «Strutture reticolari spaziali "composit all directions"». In: *Acciaio* 28.2, pp. 63–69.
- Ertosun, A. I. (2012). «Evaluation of protective Structures in archaeological Sites for *in situ* conservation of architectural remains and artifacts». Tesi magistrale. Middle East Technical University. URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12614955/index.pdf>.
- Feroldi, F. e S. Russo (2016). «Structural Behavior of All-FRP Beam-Column Plate-Bolted Joints». In: *Journal of Composites for Construction* 20.4. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000667.
- Ferrini, M., A. Melozzi, S. Pagliuzzi e S. Scarparolo (2004). «Valutazione della vulnerabilità sismica per edifici in muratura: modifiche ed integrazioni introdotte dalla Regione Toscana al manuale per la compilazione della scheda di II livello». In: *XI congresso nazionale L'ingegneria sismica in Italia* (gen. 2004). Genova.
- Flourest, A. (2012). «Un abri audacieux pour la protection des vestiges archéologiques». In: *Bibracte*. URL: http://www.bibracte.fr/media/bibracte/163210-bibracte_abri_andreu.pdf (visitato il 09-05-2019).
- Francovich, R. e D. Manacorda, cur. (1990). *Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti. Sezione Archeologica*. Università di Siena. Firenze: All'insegna del Giglio.
- cur. (2006). *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*. Roma: Laterza.
- Gasparoli, P. (2014). «Prevenzione e manutenzione nelle aree archeologiche». In: *Lanx* 19.1, pp. 168–188. DOI: <https://doi.org/10.13130/2035-4797/4896>.

- Gasparoli, P. et al. (2013). «Lo schema di linee guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico. Conoscenza, prevenzione, manutenzione». In: *Conservazione e valorizzazione dei siti archeologici: approcci scientifici e problemi di metodo*. Vol. 29. A cura di G. Biscontin e Driussi G. Università di Padova, Dipartimento di scienze chimiche. Bressanone: Arcadia Ricerche.
- Geertman, H. (1984a). «Geometria e aritmetica in alcune case ad atrio pompeiane». In: *Bullettin Antieke Beschaving. Annual Papers on Classical Archaeology* 59-1, pp. 31–52.
- (1984b). «Vitruvio e i rapporti geometrici». In: *Bullettin Antieke Beschaving. Annual Papers on Classical Archaeology* 59-1, pp. 53–62.
- Geopal (2016). *Geopal. Manuale Catalogo Applicazioni*. GeoPal Italia.
- George, M. (1997). *The Roman Domestic Architecture of Northern Italy*. Oxford: Oxford University Press.
- Gerbo, E. J. e E. P. Salikis (2014). «Optimizing a Trussed Frame Subject to Wind using Rhino, Grasshopper, Karamba and Galapagos». Proceedings of the IASS-SLTE Symposium. In: *Shells Membranes and Spatial Structures: Footprints* (set. 2014). A cura di R. M. Brasil e R. M. O. Pauletti.
- Ghedini, E. F. (2013). «La domus». In: *Storia dell'architettura nel Veneto. L'età romana e tardoantica*. A cura di P. Basso e G. Cavalieri Manasse. Venezia: Marsilio.
- Ghedini, E. F. e J. Bonetto (2014). «Vitruvio ad Aquileia. La casa ad atrio dei fondi ex Cossar». In: *Vitruvio e l'archeologia*. A cura di P. Clini. Venezia: Marsilio, pp. 49–73.
- Ghedini, F. e M. Annibaletto, cur. (2012). *Atria longa patescunt: le forme dell'abitare nella Cisalpina romana*. Roma: Quasar.
- Gianattanasio, G., M. Pagano e N. Palumbo (1988). «Il mattone d'acciaio, teorie e applicazioni». In: *Acciaio* 29.1, pp. 17–27.
- Gizzi, S. (1997). «Problemi metodologici e di linguaggio architettonico». Atti del Seminario di studi. In: *Modelli di comportamento per la reintegrazione delle lacune nel restauro archeologico in ambito mediterraneo* (apr. 1997). A cura di M. M. Segarra Lagunes. ARCO. Paestum: Gangemi, pp. 81–95.
- Grandinetti, P. L. e E. Vassallo (2015). *Interventi di valorizzazione e musealizzazione del fondo Cossar. Progetto esecutivo, primo stralcio. Relazione generale*.
- Gros, P. (2001). *Architecture romaine du début du 3. siècle av. J.-C. à la fin du Haut-Empire. Maisons, palais, villas et tombeaux*. Vol. II. Paris: Picard.
- Grunthäl, G. (1998). «European Macroseismic Scale 1998». In: *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 15.
- Gurrieri, F. (1987). «Itinerari del restauro». In: *Anastilosi: l'antico, il restauro, la città*. A cura di F. Perego. Roma: Laterza, pp. 1–9.
- Guzzo, P. G. (2011). «Journal of Roman Archaeology». In: *85: The making of Pompeii. Studies in the history and urban development of an ancient town*. A cura di S. J. R. Ellis, pp. 11–19.
- Hallier, G. (1989). «Entre les règles de Vitruve et la réalité archéologique: l'atrium toscan». In: *Bullettin Antieke Beschaving* elemento 2, pp. 105–211.
- Hoffmann, A. (1979). «L'architettura». In: *Pompei 79*.
- Holappa, M. e E. M. Viitanen (2011). «Topographic conditions and the urban landscape in 3D». In: *85: The making of Pompeii. Studies in the history and urban development of an ancient town*. A cura di S. J. R. Ellis, pp. 169–189.
- Hopkins, J. N. (2016). *The genesis of Roman architecture*. London: Yale University Press.
- Huisman, D. J., cur. (2009). *degradation of archaeological remains*. Den Haag: Sdu Uitgevers.

- Ingegneria Siderurgica, Cremona (1989). «ARVEDI space frame system». In: *Acciaio* 30.4, pp. 168–174.
- Ioppolo, G. (1991). «Pompei, un contributo per lo studio modulare dell'impianto urbano». In: *Rivista di studi pompeiani* 5, pp. 145–168.
- (1992). *Le terme del Sarno a Pompei: iter di un'analisi per la conoscenza, il restauro e la protezione sismica del monumento*. Roma: L'Erma di Bretschneider.
- Izzo, M. (2017). «Exploring the possible role of parametric design in locationing the compositional problem: theory and practice of an evolving approach toward the urban design perspective». tesi di laurea. Milano: Politecnico di Milano.
- Jackson, M. D. et al. (2009). «Assessment of material characteristics of ancient concretes, Grande Aula, Markestes of Trajan, Rome». In: *Journal of Archaeological sites* 36, pp. 2481–2492.
- (2014). «Mechanical resilience and cementitious processes in Imperial Roman architectural mortar». In: *Proceedings of National Academy Society of United States of America*. A cura di D. J. Killick. Vol. 111.
- Jerome, P. (1995). «Proposed Permanent Shelter for Building 5 at the Bronze Age site of Palaikastro, Crete». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 1, pp. 35–42.
- Joyce, A. R. (2006). «The Monumental and the Trace: Archaeological Conservation and the Materiality of the Past». In: *Of the Past, for the Future: Integrating Archaeology and Conservation*. Proceedings of the Conservation Theme at the 5th World Archaeological Congress, Washington, D.C. A cura di N. Agnew e J. Brigland. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, pp. 13–18.
- Knippers, J., J. Cremers, M. Gabler e J. Lienhard (2011). *Construction Manual for Polymers + Membranes. Materials, Semifinished products, Form-finding, Design*. Munich: Edition Detail.
- Kolosky Ostrow, A. (1990). *The Sarno Baths Complex*. Roma: L'Erma di Bretschneider.
- Lafitte, J. (1982). «Il sistema Spherobat». In: *Acciaio* 23.11, pp. 491–495.
- Lambert, S. (2007). «Comportement mécanique de géocellules - application aux constituants de merlons pare-blocs cellulaires». Tesi di dottorato. Padova: Université Joseph-Fourier - Grenoble I. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00225981>.
- Lanzarone, F., cur. (2004). *Conservazione dei beni culturali. Processo conservativo e vigente normativa*. Palermo: Dario Flaccovio.
- Laurenti, M.C., cur. (2006). *La copertura di aree archeologiche. Museo Aperto*. Roma: Gangemi.
- Levin, J. (1992). «Site Conservation: A Question of Values». In: *GCI Newsletter* 7.2, pp. 109–131.
- Liberatore, M. A. (2015). *Relazione geologica*. Soprintendenza Speciale per Pompei Ercolano e Stabia. Pompei.
- Lugli, G. (1957). *La tecnica edilizia romana, con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Vol. I. Roma: Ed. Giovanni Bardi.
- Luxen, J. L. (2003). «The Intangible Dimension of Monuments and Sites with Reference to the UNESCO World Heritage List». In: *ICOMOS 14th General Assembly and Scientific Symposium*. ICOMOS. Zimbabwe.
- Maiuri, A. (1951). *La casa a Pompei: corso universitario di antichità pompeiane dell'anno 1950-51*. A cura di G. O. Onorato. Napoli: Pironti.
- Makowski, Z. S. (1977). *Strutture spaziali in acciaio*. Milano: CISIA.
- Manacorda, D. (2007). *Il sito archeologico: fra ricerca e valorizzazione*. Roma: Carocci Editore.

- Marconi, P. (1997). «Problemi metodologici e di linguaggio architettonico». Atti del Seminario di studi. In: *La reintegrazione e il restauro dell'antico. La protezione del patrimonio dal rischio sismico* (apr. 1997). A cura di M. M. Segarra Lagunes. ARCO. Paestum: Gangemi, pp. 81–95.
- Marino, L. (1989). «La conservazione dei manufatti edilizi ridotti allo stato di rudere. Prevenzione e interventi d'urgenza». In: *Conservazione e manutenzione di manufatti edilizi ridotti allo stato di rudere*. A cura di M. Marino. Firenze: Opus Libri.
- (2009). *Materiali per un atlante delle patologie presenti nelle aree archeologiche e negli edifici ridotti allo stato di rudere*. Firenze: Alinea.
- Maritan, L., C. Previato e F. Lorenzoni, cur. (2019). *Multidisciplinary study of the Sarno Baths in Pompeii*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.012>.
- Marsugli, F. (2015). «Terremoto e memoria: la chiesa di San Gregorio Magno all'Aquila. Indicazioni metodologiche per una ipotesi di ricostruzione». In: *Restauro Archeologico* 23.1, pp. 74–87. DOI: <http://dx.doi.org/10.13128/RA-17575>.
- Matteini, M. (2010). «Tecnologie per i beni culturali». In: *Arkos* 23, pp. 10–29.
- Melchiorre, A., cur. (1977). *Particolari costruttivi di strutture in acciaio*. Vol. 5: *Strutture spaziali*. Milano: CISIA.
- Melucco Vaccaro, A. (1989). *Archeologia e restauro. Tradizione e attualità*. Milano: il Saggiatore.
- Melucco Vaccaro, A., M. Kirby Talley e N. S. Price, cur. (1996). *Historical and philosophical issues in the conservation of cultural heritage*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Merlo, R. (1990). «Ricostruzioni per la divulgazione e la didattica». Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti. Sezione Archeologica. Università di Siena. In: *Lo scavo archeologico dalla diagnosi all'edizione*. A cura di R. Francovich e D. Manacorda. Firenze: All'insegna del Giglio.
- Michaelides, D., cur. (2003). *Mosaics make a site: the conservation in situ of mosaics in archaeological sites*. Proceedings of the VI international conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics (1996). ICCROM. Nicosia, Cipro.
- «Managing Archaeological Sites with Mosaics: from real Problems to practical Solutions» (2017). The 11th conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics, in: (ott. 2011). A cura di M. Michaelides e A. M. Guimier-Sorbets. ARCO. Firenze: Edifir.
- Minissi, F. (1985). «Ipotesi di impiego di coperture metalliche a protezione di zone archeologiche». In: *Restauro* 81, pp. 27–40.
- Morandini, F. e F. Rossi, cur. (2005). *Domus romane: dallo scavo alla valorizzazione*. Milano: Edizioni Et.
- Morichi, R., R. Paone, P. Rispoli e F. Sampaolo (2014). «Sulla nuova cartografia digitale di Pompei (II parte)». In: *Rivista di studi pompeiani* 25, pp. 146–149.
- Mottram, J. (gen. 2009). «Design guidance for bolted connections in structures of pultruded shapes: Gaps in knowledge». In: *International Conferences on Composite Materials*.
- Mueller, W. e G. Vogel (1996). *Atlante di Architettura. Storia dell'architettura dalle origini all'età contemporanea*. Milano: Hoepli.
- Nappo, S. (1994). «Alcuni esempi di tipologie di case popolari della fine del III, inizio II secolo a.C. a Pompei». In: *Rivista di studi pompeiani* 6, pp. 77–104.

- Neudecker, R. (2012). «Case nella città». In: *Storia dell'architettura italiana. Architettura romana; le città in Italia*. A cura di H. von Hensberg e P. Zanker. Milano: Electa, pp. 50–65.
- Nicolella, M. (1998). «La reversibilità del progetto come forma di manutibilità». In: *Progettare i restauri. Orientamenti e Metodi-Indagini e Materiali*. Vol. 14. A cura di G. Biscontin e Driussi G. Università di Padova, Dipartimento di scienze chimiche. Bressanone: Arcadia Ricerche, pp. 109–117.
- Nissin, L. (2015). «Journal of Roman Archaeology». In: 102: *Public and Private in the Roman House and Society*. A cura di K. Tuori e N. Nissin, pp. 101–118.
- Noack, F. e K. Lehmann-Hartleben (1939). *Baugeschichtliche Untersuchungen am Stadtrand von Pompeji*. Berlin und Leipzig: Walter De Gruyter e Co.
- Nuzzo, M. (2015). *Studio di fattibilità per la messa in sicurezza, consolidamento e restauro dell'Insula Meridionalis, del Tempio di Venere al Foro Triangolare, Regio VIII (fronte meridionale)*. Soprintendenza Speciale per Pompei Ercolano e Stabia. Pompei.
- Pagano, M. (1969). «La sperimentazione quale fattore della industrializzazione edilizia». In: *Prefabbricare - Edilizia in evoluzione* 3, pp. 9–19.
- (1981). «Industrializzazione e scienza dell'edilizia». In: *Casabella* 65.474/475, pp. 77–81.
- Palumbo, G. (2006). «Privatization of State-owned Cultural Heritage: A Critique of Recent Trends in Europe». In: *Of the Past, for the Future: Integrating Archaeology and Conservation*. Proceedings of the Conservation Theme at the 5th World Archaeological Congress, Washington, D.C. A cura di N. Agnew e J. Brigland. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, pp. 35–39.
- Palumbo, G. e J. M. Teutonico, cur. (2000). *Management planning for archaeological sites*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Panofsky, E. (2010). Trad. da R. Federici. Torino: Einaudi.
- Papadopoulos, J. K. (1997). «Knossos». In: *Conservation of Archaeological Sites in the Mediterranean Region*. A cura di M. De La Torre. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, pp. 93–126.
- Pedeli, C. e S. Pulga (2002). *Pratiche conservative sullo scavo archeologico. Principi e metodi*. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Pedroni, L. (2011). «Journal of Roman Archaeology». In: 85: *The making of Pompeii. Studies in the history and urban development of an ancient town*. A cura di S. J. R. Ellis, pp. 37–59.
- Perry, M. (2015). «Journal of Roman Archaeology». In: 102: *Public and Private in the Roman House and Society*. A cura di K. Tuori e N. Nissin, pp. 77–86.
- Pesando, F. e M. P. Guidobaldi (2006). *Pompeii, Oplontis, Ercolano, Stabiae*. Roma-Bari: Laterza.
- Peterse, C. (1984). «Der oskische Fuss in Pompejanischen Atrien». In: *Bullettin Antieke Beschaving. Annual Papers on Classical Archaeology* 59-1, pp. 9–30.
- Petraroia, P. (2010). «Tutela e valorizzazione». In: *Musei e valorizzazione dei beni culturali: atti della Commissione per la definizione dei livelli minimi di qualità delle attività di valorizzazione*. A cura di P. Dragoni e M. Montella. Macerata, pp. 43–54. DOI: <http://digital.casalini.it/10.1400/157336>.
- Petriaggi, R. (1996). «Risultati di un esperimento di protezione di pavimenti in mosaico conservati all'aperto nel sito di Ostia Antica». In: *Conservación in situ* (1990). ICCROM. Palencia.

- Petruccioli, A. (2006). «The courtyard house; Typological variations over space and time». In: *Courtyard Housing. Past, Present and Future*. A cura di B. Edwards, M. Sibley, M. Hakmi e P. Land. Oxford: Taylor e Francis.
- Pineschi, I. (2007). *La Progettualità architettonica per l'Archeologia. Dalla conservazione alla tutela attiva*. Roma: Aracne.
- Porto, C E. (2014). «The innovative structural conception in Stéphane du Château : from metallic trusses to the development of spatial frames». In: *Architectus* 40.4, pp. 61–64.
- Posocco, F. (1988). ««T and B» un nuovo procedimento costruttivo per grigliati doppiostra-to square on diagonal e diagonal on square». In: *Acciaio* 29.11, pp. 493–497.
- Prete, G. (1976). *Caratteristiche e tipologie delle strutture reticolari e spaziali*. Genova: Ricerca Italsider-Comunità Europea.
- Ramaswamy, G. S., M. Eekhout e G. R. Suresh (2002). *Analysis, design and construction of steel space frames*. London: Thomas Telford.
- Ranellucci, S. (2009). *Coperture archeologiche: allestimenti protettivi sui siti archeologici*. Roma: Dei.
- Renfrew, C. e P. Bahn (1993). *Archaeology. Theories Methods and Practice*. London: Thames e Hudson.
- Ricci, A. (1999). «Luoghi estremi della città. Il progetto archeologico tra 'memoria' e 'uso pubblico della storia'». In: *Archeologia Medievale* 26, pp. 21–42.
- (2002). *Archeologia e urbanistica*. Quaderni del Dipartimento di archeologia e storia delle arti, Sezione archeologica, Università di Siena. Firenze: All'insegna del giglio.
- Roby, T. e M. Demas, cur. (2012). *Mosaics In Situ. An Overview of Literature on Conservation of Mosaics in Situ*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute. URL: http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/lit_review.
- Romanelli, R. (1989). «C.A.B.I.R.. sistema strutturale reticolare spaziale». In: *Acciaio* 30.7-8, pp. 321–328.
- Rota, M. (2002). *La tutela dei beni culturali tra tecnica e discrezionalità*. Padova: CEDAM.
- Ruggieri Tricoli, M. C. (2000). *I fantasmi e le cose. La messa in scena della storia nella comunicazione museale*. Milano: Lybra immagine.
- (2007). *Musei sulle rovine. Architetture nel contesto archeologico*. Milano: Lybra immagine.
- Ruggieri Tricoli, M. C. e C. Sposito (2004). *I siti archeologici: dalla definizione del valore alla protezione della materia*. Palermo: Dario Flaccovio.
- Ruggieri, N. (2017). «Seismic Vulnerability of the Ancient Pompeii through the Evaluation of the 62 AD Earthquake Effects». In: *International Journal of Architectural Heritage* 11.4, pp. 490–500. DOI: 10.1080/15583058.2016.1263690.
- Russel, A. (2015). «Journal of Roman Archaeology». In: 102: *Public and Private in the Roman House and Society*. A cura di K. Tuori e N. Nissin, pp. 49–61.
- Russo, S. (2010). «I profili strutturali in GFRP: teoria e applicazioni». In: *Seminario Internazionale CIAS*. Madrid.
- Russo, S., G. Boscato e J. T. Mottram (2012). «Design and free vibrations of a large temporary roof FRP structure for the santa maria paganica church in L'Aquila, Italy». In: *Proceedings of the 6th Conference on FRP Composites in Civil Engineering*. IIFC. Roma.
- Sabelli, R. (2014). «Il memoriale di Mosè: complessità di un progetto di conservazione e valorizzazione di un sito archeologico complesso». In: *Restauro Archeologico* 22.2, pp. 4–31. DOI: <http://dx.doi.org/10.13128/RA-17958>.

- Samayoa, J., S. Baraccani, L. Pieraccini e S. Silvestri (2018). «Behavior of One-Storey Gabion-Box Walls Buildings». In: *Frontiers in Built Environment* 4, pp. 29–31. DOI: 10.3389/fbuil.2018.00007.
- Sanfilippo, G. e E. Romano (2018). «Terremoti, ruderi e ricostruzioni. Una proposta per la chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice». In: *Restauro Archeologico* 27.1, pp. 66–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.13128/RA-23461>.
- Sathishkumar, T. P., S. Satheeshkumar e J. Naveen (2014). «Glass fiber-reinforced polymer composites - a review». In: *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 33.13, pp. 1258–1275. DOI: 10.1177/0731684414530790.
- Sbrogiò, L. et al. (2018). «Restauro archeologico». In: 26.2, pp. 4–29. DOI: <https://doi.org/10.13128/RA-23174>.
- Scagliarini Corlaità, D. (1994). «Le grandi *insulae* di Ostia come integrazione tra edilizia residenziale e infrastrutture urbane». In: *Splendida civitas nostra. Studi archeologici in onore di Antonio Frova*. A cura di G. Cavalieri Manasse e E. Roffia. Roma: Quasar, pp. 171–182.
- Schmidt, H. (1988). *Schutzbauten*. Stuttgart: Theiss.
- (1997). «Reconstruction of Ancient Buildings». In: *Conservation of Archaeological Sites in the Mediterranean Region*. A cura di M. De La Torre. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, pp. 41–50.
- Segrè, A. (1928). *Metrologia e circolazione monetaria degli antichi*. Bologna: Zanichelli.
- Sisani, S. (2014). «*Qua aratrum ductum est*: la colonizzazione romana come chiave interpretativa della Roma delle origini». Papers of the Royal Netherlands Institute in Rome. In: *Roman Republican Colonization. New Perspectives from Archaeology and Ancient History*. A cura di T. D. Stek e J. Pelgrom. Vol. 62. Roma, pp. 357–405.
- Sommella, P. e L. Migliorati (1988). *L'Italia antica. L'urbanistica romana*. Roma: Juovence.
- Sposito, C. (2004). «Esigenze e requisiti delle coperture». In: *Coprire l'antico*. A cura di A. Sposito. Palermo: Flaccovio.
- (2005). «Esigenze conservative e prestazioni tecnologiche: linee guida per la copertura della *domus* ellenistico-romana di Taormina». III Congresso Nazionale IGIIC. In: *Lo Stato dell'Arte* 3 (set. 2005). Palermo: Nardini Editore.
- (2006). «Affidabilità e durata dei sistemi di protezione per la conservazione e la fruizione dei siti archeologici». IV convegno Arkos. In: *La fruizione sostenibile del bene culturale*. A cura di A. Acidini e A. Pasetti. Firenze: Nardini, pp. 85–91.
- (2016). «Coprire l'Antico: Sistemi e Tipi per Conservare». Proceedings of the International Symposium. In: *Project Soluntum. Tradition and Innovation in ancient Contexts* (mag. 2015). A cura di A. Sposito e A. Mangiarotti. Roma: ERMES, pp. 127–137.
- Staccioli, R. A. (1959). «voce Casa». In: *Enciclopedia dell'Arte antica*. Vol. III, Buddismo-Cosmologia e cartografia.
- Stanley Price, N., cur. (1991). *The Conservation of the Orpheus Mosaic at Paphos, Cyprus*. Burbank, CA: Getty Conservation Institute.
- Stanley Price, N. e J. Jokilehto (2001). «The decision to shelter archaeological sites. Three case studies from Sicily». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 5, pp. 19–34.
- Stubbs, J. H. (1995). «Protection and Presentation of Excavated Structures». In: *Conservation on Archaeological Excavation with particular reference to Mediterranean area*. A cura di N. Stanley Price. Roma: ICCROM.

- Sublette, W. R. (1979). «A behavioral study of gabion retaining walls». Tesi di dottorato. The University of Arizona. URL: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/565450>.
- Taccogni, G. (1999). «Conservazione e valorizzazione dei siti archeologici urbani». In: *I Beni Culturali. Tutela e valorizzazione* 7.4-5, pp. 2–8.
- Tano, P. (2004). «Biodeterioration of Cultural Heritage. Decay Mechanisms and Control Methods». In: *Proceedings of the ARCCHIP workshops*. Vol. 3. A cura di M. Drdacky. Prague, pp. 85–121.
- Tedeschi, A. (2014). *AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using grasshopper*. Edizioni Le Penseur.
- Theodorakes, P. e M. Kouli (2010). «Conservation procedures for the reburials of mosaic pavements: A review of materials and techniques». In: *8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*. A cura di M. Kouli e F. Zezza. Patras.
- Thompson, T. D. e M. R. Taylor (2001). «Establishment of conservation, design and construction criteria for protective shelters at Fort Selden State Monument, New Mexico». In: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 5, pp. 45–54.
- Tomasi, A. (1981). «Il sistema Monoluce». In: *Acciaio* 22.5, pp. 214–216.
- Tortelli, G. e R. Frassoni (2005). «Musealizzazione domus romane dell’Ortaglia, Brescia». In: *Architetti italiani under 50. Ricerca, formazione, progetto di architettura*. A cura di A. Piva e Galliani P. F. Venezia: Marsilio, pp. 104–105.
- Tosco, C. (2014). *I beni culturali. Storia, tutela e valorizzazione*. Bologna: il Mulino.
- Tuori, K. e N. Nissin, cur. (2015). *Public and Private in the Roman House and Society*. Bologna: Zanichelli.
- Ulisse, F. (2009). *Tutela della cultura e cultura della tutela. Cartografia archeologica e legislazione sui beni culturali in Italia e in Europa*. Bologna: Ante Quem.
- VAST-System (1984). «VAST: un nuovo sistema di struttura spaziale». In: *Acciaio* 25.1, pp. 15–18.
- Vaudetti, M., V. Minucciani e S. Canepa, cur. (2013). *Mostrare l’archeologia. Per un manuale-atlante degli interventi di valorizzazione*. Torino: Allemandi.
- Vento, F. (1989). «Verifica agli elementi finiti dell’ECO Space System». In: *Acciaio* 30.2, pp. 55–65.
- Ventrella, E. (1988). «Struttura spaziale «Vestrut» per la copertura degli scavi archeologici della villa di Arianna a Stabia (Napoli)». In: *Acciaio* 29.9, pp. 397–407.
- Vierlinger, R. (2013). «Multi Objective Design Interface». Tesi magistrale. Technische Universität Wien. DOI: 10.13140/RG.2.1.3401.0324.
- Vivio, B. A. (2010). *Franco Minissi. Musei e restauri: la trasparenza come valore*. Roma: Gangemi.
- Vlad Borrelli, L. (2003). *Restauro archeologico: storia e materiali*. Roma: Viella.
- (2010). *Conservazione e restauro delle antichità: profilo storico*. Roma: Viella.
- Volpe, G. (2016). *Un patrimonio italiano. Beni culturali, paesaggio e cittadini*. Torino: UTET.
- Wallace Hadrill, A. (2015). «Journal of Roman Archaeology». In: *102: Public and Private in the Roman House and Society*. A cura di K. Tuori e N. Nissin, pp. 177–187.
- Wallace-Hadrill, A. (1994). *Houses and society in Pompeii and Herculaneum*. A cura di Princeton University Press. Princeton, NJ.

- Wilson Jones, M. (1989). «Principles of Design in Roman Architecture: The Setting Out of Centralised Buildings». In: *Papers of the British School at Rome* 57, pp. 106–151. URL: <http://www.jstor.org/stable/40310900A>.
- (2001). «Doric Measure and Architectural Design 2: A Modular Reading of the Classical Temple». In: *American Journal of Archaeology* 105.4, pp. 675–713. URL: <http://www.jstor.org/stable/40310900A>.
- Zaccaria Ruggiu, A. P. (1995). *Spazio privato e spazio pubblico nella città romana*. Roma.
- Zaffagnini, M., A. Gaiani e N. Marzot (1995). *Morfologia urbana e tipologia edilizia*. Bologna: Pitagora Editrice.
- Zanelli, A., E. Rosina, R. Maffei e G. Carra (2013). «Innovative solutions for ultra-lightweight textile shelters covering archaeological sites». In: a cura di P. Pinco. DOI: 10.1201/b15267-184.
- Zanini, E. (2006). «Scavo archeologico». In: *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*. A cura di R. Francovich e D. Manacorda. Roma: Laterza, pp. 350–355.
- Zanker, P. (1993). *Pompei. Società, immagini urbane e forme dell'abitare*, trad.it. a cura di A. Zambrini. Torino: Einaudi.
- Zeza, F. (2010). «Sites, Features and Environment of ancient Structures: a methodological approach in conservation». In: *8th International symposium on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin* (31 mag.–2 giu. 2010).
- Zifferero, A. (2006). «Siti e Parchi». In: *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*. A cura di R. Francovich e D. Manacorda. Roma: Laterza, pp. 350–355.
- Zoghi, M., cur. (2014). *The International Handbook of FRP Composites in Civil Engineering*. Boca Raton, FL: Taylor e Francis.

Siti e risorse online

- [1]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://it.wikipedia.org/wiki>.
- [2]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://notizie.comuni-italiani.it/>.
- [3]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://roscord.blogspot.com/>.
- [4]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://onditmedievalpasmoyenageux.fr/>.
- [5]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://ordine.architettriroma.it>.
- [17]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.pompeiiinpictures.org/>.
- [6]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://xoomer.virgilio.it/>.
- [7]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.izi.travel.it/>.
- [9]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://divisare.com/>.
- [10]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://romagnatoscanaturismo.it/>.
- [11]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.diarchitettura.org/>.
- [12]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://ilfriuli.it>.
- [13]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://agvmetallica.it/>.
- [14]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.frosinonetoday.it/>.
- [15]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.lucaguido.it/>.
- [16]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.francovalente.it/>.
- [18]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.restauratorisenzafrontiere.com/>.
- [19]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.ilgiornaledellarte.com/>.
- [20]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.sebastianoamore.com/>.

- [21]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.flickr.com/>.
- [22]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.touringclub.it/>.
- [24]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.neveappennino.it/>.
- [23]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.visitcyprus.org/>.
- [25]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.wmf.org/>.
- [26]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.123rf.com/>.
- [27]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.weekendnotes.com/>.
- [28]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.villaromanalaolmeda.com/>.
- [29]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.valorizart.altervista.org/>.
- [30]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.pinterest.it/>.
- [31]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.badenweiler.de/>.
- [32]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.zentrum-der-antike.de/>.
- [33]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.afasiaarchzine.com/>.
- [34]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.eifelfuehrer.de/>.
- [35]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.nievre-tourisme.com/>.
- [36]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.tripadvisor.fr/>.
- [37]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.cassinomagus.fr/>.
- [38]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.les-grands-sites-du-perigord.com/>.
- [39]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.grandsudinsolite.fr/>.
- [40]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.gironde-tourisme.fr/>.
- [41]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.culture24.org.uk/>.
- [42]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.heritagefutures.wordpress.com/>.
- [43]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.jscp.co.uk/>.
- [44]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.longola.it/>.
- [45]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.gtp.gr/>.
- [46]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.architetti.san.beniculturali.it/>.
- [47]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.beniculturali.it/>.
- [48]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.fuoriporta.it/>.
- [49]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.newsweek.com/>.
- [50]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.archeologiainrovina.wordpress.com/>.
- [51]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.milanigegneria.it/>.
- [52]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.veronacityguide.altervista.org/>.
- [53]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.maccaferri.com/>.
- [54]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.sirive.it/>.
- [55]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.appeninoromagnolo.it/>.
- [56]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.aquaepatavinae.it/>.
- [57]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.turistipersbaglio.com/>.
- [58]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.barbaradesanti.it/>.
- [59]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.strongwell.com/>.
- [60]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.aliancys.com/en/>.
- [61]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.recap.huma-num.fr/>.
- [62]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/index.html>.
- [63]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.regione.toscana.it/-/vulnerabilita-sismica-edifici-in-muratura-vsm->.
- [64]. (visitato il 30/09/2019). URL: <http://www.controlucepix.com/>.
- [65]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.google.it/maps/>.

[66]. (visitato il 30/09/2019). URL: <https://www.archeologiavocidalpassato.wordpress.com/>.

ACOR (2017). *ACOR Newsletter*. American Center of Oriental Research. URL: <https://www.acorjordan.org/research/publications/acor-newsletters/> (visitato il 30/09/2019).