

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento dei Beni Culturali: Archeologia, Storia dell'Arte, del Cinema e della Musica

---

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN STORIA CRITICA E CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI
CICLO XXVIII

NUOVE TECNOLOGIE 3D PER LO STUDIO E LA VALORIZZAZIONE DEI BENI CULTURALI, APPLICATE AL PROGETTO *AQUAE PATAVINAE* E AL MUSEO DEL TERMALISMO

Direttore della Scuola: Ch.ma Prof.ssa Elena Francesca Ghedini

Supervisore: Prof. Giuseppe Salemi

Dottorando: Samanta Greggio

RIASSUNTO

Il progetto *Aquae Patavinae,* nato nel 2005 e coordinato dal Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, ha come obiettivo lo studio del comprensorio termale euganeo e le sue fasi insediative, legate all'utilizzo delle risorse termali, e la realizzazione di un percorso di valorizzazione, che sarà completato con il Museo del Termalismo, attualmente in corso di progettazione.

Si è quindi reso necessario ricontestualizzare parte dei beni, rinvenuti nell'area, ma conservati esternamente ed organizzare in un unico sistema i dati territoriali, analizzando alcuni casi di studio e ampliando così i limiti spazio-temporali.

L'obiettivo della ricerca è definire un approccio multidisciplinare, per ciascuno dei due ambiti, dove le procedure tradizionali sono integrate sia con tecniche di rilievo 3D *reality-based*, che restituiscono modelli geometrici accurati e con *texture* dei beni mobili, che con diverse fonti di dati territoriali per individuare le trasformazioni degli elementi naturali e antropici e ricavare presentazioni multidimensionali 2D, 2.5D e 3D del paesaggio storico.

Inoltre, considerando le esposizioni museali e le nuove forme di comunicazione, si sono sperimentati sistemi innovativi di gestione, visualizzazione e fruizione dei dati, basati su *serious games,* come la realtà virtuale e la realtà aumentata, realizzando soluzioni di *edutainment* per intrattenere ed educare il pubblico.

I risultati hanno ampliato la ricerca all'interno del progetto *Aquae Patavinae*, affrontando nuovi casi di studio e digitalizzando alcuni beni e parte del patrimonio culturale, legato al territorio. I dati 2D, 2.5D e 3D, acquisiti, sono stati resi interoperabili per la successiva gestione e l'utilizzo in altre applicazioni e su altre piattaforme *hardware/software.* Sono stati anche corredati di *metadata* e *paradata*, secondo le ultime normative.

Inoltre, sono stati sviluppati nuovi ambiti d'indagine, basati sull'integrazione di diverse fonti di dato e di sistemi multifunzione, proponendo una struttura organizzativa dei contenuti ed evidenziando il valore semantico del bene culturale.

ABSTRACT

The Aquae Patavinae project is working since 2005 and it is managed by the Department of Cultural Heritage of University of Padua. The project goals are the studying of the Euganean Thermal area and its settlement phases, connected to the use of thermal resources, and the constitution of an enhancement system in the framework of the Museum of Thermalism whose the project is ongoing.

In this approach, the recontextualization of some assets, found inside the zone but preserved outside, and the geodata organization into a common system are required. Some case studies extending spatial-temporal limits are analysed.

The research goal is to track and to follow a multidisciplinary approach, where 3D survey reality-based techniques are integrated on and with traditional procedures therefore accurate and textured geometric models of mobile assets are returned and multi-sources geodata identifying natural and anthropic transformations are provided. Finally, multidimensional 2D, 2.5D and 3D presentations of historical landscape are visualized.

Furthermore, considering museum expositions and new ways of communication, innovative systems to manage, visualize and enhance data are experimented. They are based on serious games, like virtual reality and augmented reality and they constitute edutainment systems, where entertainment and education are linked together.

The results have extended the Aquae Patavinae project research, examining new case studies and digitizing some archaeological finds and cultural heritage, related to territory. The 2D, 2.5D and 3D acquired data are been formatted in order to get interoperable data for management and using into different applications and hardware/software platforms. These data come with metadata and paradata, according to the last guidelines.

Besides, new analyses are developed, integrating multi-sources and multi-functions systems and proposing a framework, where the contents are organized to highlight the semantic value of the cultural heritage.

Indice

1. Introduzione 1
1.1 Motivazioni ed applicazioni 1
1.2 Struttura del lavoro 4

2. Il progetto *Aquaepatavinae*. *Background* e nuovi obiettivi 5

2.1 Il progetto *Aquae Patavinae* 6
2.2 Fasi storiche e sviluppo insediativo nell'area termale euganea 9
2.3 Scelte metodologiche ed indagini multidisciplinari 13
2.3.1 Le ricerche sul territorio 13
2.3.2 Le ricerche geofisiche sulle strutture archeologiche 15
2.3.3 Tecnologie per la valorizzazione a Montegrotto Terme 17
2.4 Nuovi obiettivi e tecnologie per la valorizzazione e la comunicazione 19
2.5 Casi di studio 21
2.5.1 Statua maschile in marmo bianco 22
2.5.2 Cippi confinari 25
2.5.3 Il territorio e le sorgenti termali euganee 29

3. Tecniche di rilievo 3D e sistemi per la gestione e la valorizzazione 33

3.1 Tecniche *reality-based* 34
3.2 Tecniche 3D passive 36
3.2.1 Fotogrammetria 36
3.2.2 *Computer Vision* 40
3.3 Sensori 3D attivi 42
3.3.1 Sistemi basati sul principio della triangolazione 42
3.3.2 Sistemi basati sulla misura di distanza 45
3.4 Confronto e integrazione tra tecniche passive e attive 48
3.5 Gestione e visualizzazione del dato 51
3.6 Gestione in ambiente GIS 54
3.7 S*erious games* per comunicare e valorizzare i Beni Culturali 59
3.8 Comunicazione e *serious games* nei musei 62
3.8.1 Realtà Virtuale 64
3.8.2 Sistemi basati su interazione naturale 67
3.8.3 Realtà Aumentata 69

4. La digitalizzazione 3D dei beni mobili 75

4.1 Il rilievo 3D della statua maschile in marmo bianco 76
4.1.1 Scelte metodologiche e pianificazione 77
4.1.2 Rilievo *range-based* 80
4.1.3 Elaborazione dati *range-based* e risultati 82
4.1.4 Rilievo *image-based* 88
4.1.5 Elaborazione dati *image-based* e risultati 91
4.2 Il rilievo 3D dei cippi confinari 99
4.2.1 Scelte metodologiche e pianificazione 99
4.2.2 Rilievo *image-based* 102

4.2.3 Elaborazione dati 104
4.2.4 Risultati e visualizzazione scientifica dei dati 112

5. Nuove indagini sul territorio 117

5.1 *Datasets* 118
5.2 Scelte metodologiche per la gestione e la digitalizzazione dei dati 121
5.3 Analisi e considerazioni sui casi di studio 126
5.3.1 Montegrotto Terme 126
5.3.2 Monteortone 132

6. Integrazione dei dati e nuove soluzioni per la valorizzazione 141

6.1 Statua maschile in marmo bianco: dal modello 3D alla valorizzazione 142
6.1.1 Integrazione tra tecniche *image-based* e *range-based (sensor fusion)* 142
6.1.2 Ricostruzione virtuale del contesto antico e studio d'interfacce interattive 147
6.1.3 *Augmented Reality, markerless 3D tracking based on CAD data* 151
6.2 *Augmented Reality* per la valorizzazione dei cippi confinari 158
6.2.1 Configurazione del sistema 158
6.2.2 Un *walkthrough* interattivo nel sistema di realtà aumentata 164
6.2.3 Risultati e considerazioni 168
6.3 Ricostruzione virtuale di alcune aree del paesaggio termale euganeo tra il 1700 e il 1800 169
6.3.1 Via Neroniana 169
6.3.2 Monteortone 173
6.3.3 Risultati e considerazioni 177

7. Conclusioni 179

Appendice A.*Metadata e paradata* 185

Appendice B. Statua maschile in marmo bianco. Dati *range-based* 207

Appendice C. Montegrotto Terme, prima metà del 1900 215

Bibliografia 217

Ringraziamenti 233

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Motivazioni ed applicazioni

I Beni Culturali rappresentano l'eredità culturale delle generazioni passate e si distinguono tra tangibili e intangibili. I primi si dividono in beni mobili, come oggetti archeologici, artistici, tecnologici, materiale d'archivio, librario, ecc. e immobili, quali monumenti, edifici, architetture e interi siti archeologici diventati parte integrante del paesaggio, determinandone il valore storico-culturale. Gli intangibili o immateriali sono le pratiche, rappresentazioni, espressioni, conoscenze, abilità, che le comunità, i gruppi e gli individui riconoscono come parte del patrimonio[1].

La ricerca qui presentata affronta, parzialmente, i beni intangibili ed in modo più esteso i tangibili, considerando la loro complessanatura, determinata dal valore semantico, che è costituito dalle caratteristiche, dalle proprietà fisiche e materiche, dalla forma geometrica, dalla collocazione geografica e cronologica, ma anche da fattori spesso non visibili o apprezzabili, tra cui il significato ed il valore storico-archeologico, artistico, la sua funzione, il contesto culturale di provenienza, i legami con altri oggetti o contesti, le informazioni relative alla tecnica di realizzazione, ecc. Di conseguenza, vi sono molteplici aspetti, materiali e immateriali, che devono essere indagati per definire in modo completo un bene culturale ed il suo significato, facendo emergere la necessità di una collaborazione tra ambiti di ricerca multidisciplinari per documentare, tutelare e valorizzare il bene, evidenziandone le caratteristiche ed il valore storicoe rispondendo alle esigenze socio-culturali e comunicative. Inoltre, è fondamentale diffonderne la conoscenza ed educare il pubblico alla conservazione.

L'applicazione di discipline di ambito scientifico, in particolare la geomatica, che acquisisce tramite sensori, elabora con specifici algoritmi, analizza tramite sequenze di operazioni ed interpreta i dati anche con sistemi di visualizzazione dinamica (l'approccio originale è relativo alla superficie della terra) ha trovato ampio spazio nel campo dei Beni Culturali, per supportare l'analisi, l'osservazione e la valorizzazione[2]; inoltre, si stanno diffondendo strumenti di facile utilizzo ed economicamente accessibili. Si usano tecniche *reality-based*, che utilizzano sensori attivi e passivi. Nel primo caso sono strumenti, basati su metodi *range-based*, dove è emesso un segnale elettromagnetico, poi registrato per ricavare la misura di distanza (*range*); tra questi vi sono i *laser scanner*, le stazioni

[1] ICCROM 2005, pp. 1-47.
[2] REMONDINO 2011, pp. 1104-1138; REMONDINO, CAMPANA 2014.

totali, ecc. Nel secondo caso, invece, i sistemi si basano su metodi *image-based*, che sfruttano la luce presente nell'ambiente per acquisire immagini poi elaborate per ricavare dati 3D, come la fotogrammetria e la *computer vision*. In entrambi i casi si registrano elementi della scena reale, lavorando su diverse scale di acquisizione, poi modellati digitalmente per restituire una visualizzazione multidimensionale (2D, 2.5D, 3D, 4D), utile in fase di analisi, osservazione e interpretazione e per la successiva collocazione nello spazio in relazione con gli altri dati. Le tecniche tradizionali, usate in precedenza, si basavano su misure manuali, spesso soggettive, dispendiose in termini di tempo e applicabili solo su aree ridotte, escludendo quasi completamente la restituzione grafica di manufatti, mentre le procedure di derivazione geomatica che sfruttano le innovazioni tecnologiche digitali, restituiscono un dato oggettivo e dettagliato, che presenta l'aspetto reale, attraverso l'associazione di *texture,* in cui si riportano le variazioni di colore, di rugosità e altre caratteristiche della superficie; inoltre consentono di procedere in modo speditivo, adattandosi all'oggetto e al contesto ambientale.

La digitalizzazione riguarda anche tutte le fonti di tipo bidimensionale, come fotografie, cartografie, immagini pittoriche, fonti bibliografiche antiche e iconografiche. Per la gestione e visualizzazione delle diverse tipologie di dato si utilizzano ambienti *software* quali i *Geographical Information System* (GIS), che consentono di organizzare spazialmente e cronologicamente gli elementi, con funzione di *geodatabase*, per poi condurre nuove analisi, elaborazioni ed interpretazioni.

Le procedure presentate sono utili per documentare i Beni Culturali e forniscono elementi per l'analisi, la tutela, la conservazione e la pianificazione d'interventi di restauro; inoltre si possono ricavare immagini georeferenziate e multidimensionali del bene territoriale e dal modello 3D si possono ottenere la suddivisione semantica della superficie, sezioni, misure di volume, stima dell'erosione, analisi delle deformazioni, ecc. Le rappresentazioni multidimensionali e le digitalizzazioni 3D sono usate anche nel campo della valorizzazione, dove favoriscono la percezione spazio-dimensionale e restituiscono oggetti, monumenti, siti archeologici e altri beni, spesso non accessibili o non conservati. Negli ultimi anni, si stanno diffondendo i *serious games*, che hanno lo scopo d'intrattenere ed educare il pubblico. Tra questi si ricordano la realtà virtuale, che simula ambienti storici realistici ed è integrabile in più sistemi basati su interazioni multisensoriali, e la realtà aumentata, che aggiunge contenuti informativi a scene reali, creando interi percorsi di visita[3]. Al loro interno sono associati più fonti di dati e contenuti, che fanno emergere la necessità di risolvere problemi relativi alla gestione, all'organizzazione e alle tecniche comunicative. Alcune linee guida sono definite all'interno della *London Charter*[4], il documento più rappresentativo a livello internazionale per la visualizzazione di Beni Culturali digitali, che mira a

[3] ANDERSON*et al.* 2010, pp. 255-275.
[4] http://www.londoncharter.org.

preservare l'integrità del dato, indipendentemente dal supporto tecnologico, con l'obiettivo di promuoverne la conoscenza, lo studio, la gestione, l'affidabilità, la trasparenza e la sostenibilità. I contenuti devono essere associati e presentati in modo narrativo, tematico e tipologico, con un linguaggio chiaro e facilmente comprensibile; inoltre, è importante definire il messaggio ed il valore semantico del bene culturale, mantenendo focalizzata l'attenzione e usando le tecnologie come supporto e non come fine.

Il progetto *Aquae Patavinae* ben s'inserisce all'interno di quest'ampia ricerca perché ha lo scopo di studiare l'intero territorio termale euganeo e le sue fasi insediativenei diversi periodi storici, spesso legate allo sfruttamento delle risorse, per poi creare un percorso di valorizzazione, che sarà completato con il Museo del Termalismo, attualmente in corso di progettazione.

Di seguito sono analizzati beni intangibili e tangibili, dalla scala del piccolo oggetto ad un complesso territoriale esteso. Le procedure di rilievo e modellazione 3D hanno restituito il modello digitale dei beni mobili, rinvenuti nel comprensorio euganeo, ma non conservati in loco, e hanno consentito di analizzare i dati territoriali e le fonti storiche, vettorializzando gli elementi naturali e antropici delle diverse fasi.

Il lavoro amplia la ricerca, all'interno del progetto *Aquae Patavinae* e del costituendo Museo del Termalismo, attraverso la digitalizzazione 2D, 2.5D, 3D, che permette di documentare lo stato di conservazione dei beni e di presentare nuove proposte per l'analisi, la gestione, la visualizzazione e la valorizzazione. Inoltre, si sono sviluppati nuovi percorsi d'indagine, analizzando e sperimentando sistemi tecnologici, basati sull'integrazione dei contenuti, per evidenziarne il valore storico-culturale e favorirne la comprensione.

1.2 Struttura del lavoro

Dopo quest'introduzione, nel secondo capitolo sono presentati il progetto *Aquae Patavinae* e l'ampio panorama storico-archeologico, indagato con un approccio multidisciplinare. L'analisi del lavoro pregresso ha permesso di continuare quanto avviato in precedenza e di sviluppare nuovi percorsi di ricerca, rivolti allo studio ed alla valorizzazione dei beni, all'interno del comprensorio euganeo e nel costituendo Museo del Termalismo.

Nel terzo capitolo sono analizzate e confrontate tecniche *reality-based* e procedure d'integrazione di diverse fonti di dati che restituiscono una digitalizzazione multidimensionale, per poi procedere alla gestione, alla visualizzazione ed all'inserimento in *serious games*, basati sulle nuove forme di comunicazione e valorizzazione, ponendo particolare attenzione ai contesti museali. Tra questi, vengono presi in considerazione la realtà virtuale, fruibile attraverso sistemi, come *natural interaction* e realtà aumentata, che trovano oggi ampia diffusione.

Le tecniche d'indagine sono applicate ai casi di studio, individuati all'interno del progetto *Aquae Patavinae*, quali i beni mobili (quarto capitolo), restituiti digitalmente per la successiva ricontestualizzazione, e i dati territoriali (quinto capitolo), definendo gli elementi naturali e antropici e le trasformazioni nelle varie fasi storiche.

Nel sesto capitolo si analizzano l'integrazione delle diverse fonti di dato e l'inserimento del bene culturale digitalizzato, associato ad altri contenuti informativi, in ambienti di realtà virtuale; quindi la sperimentazione di sistemi, adatti a presentazioni in contesti culturali, educativi ed espositivi e basati sull'elaborazione di video e applicazioni mobili di realtà aumentata.

Il settimo capitolo riassume i risultati, estrapolando il contributo scientifico e valutando le prospettive future.

Infine, alcune appendici presentano l'elaborazione dei dati *laser scanner*, gli schemi di *metadata* e *paradata*, registrati per ciascun modello, e alcune immagini e dati storici del territorio di Montegrotto Terme agli inizi del 1900.

CAPITOLO 2

Il progetto *Aquae Patavinae*.

Background e nuovi obiettivi

Il comprensorio termale euganeo è un contesto estremamente complesso e ricco di risorse naturali, che hanno influenzato le dinamiche insediative, nei diversi momenti storici. I vari ambiti di studio sono stati presi in considerazione nel progetto *Aquae Patavinae*, coordinato dal Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, progetto al quale collaborano gruppi di ricerca multidisciplinari per creare un percorso di valorizzazione all'interno del territorio che si completerà con il Museo del Termalismo.

In questo capitolo, si presenta il lavoro pregresso, si focalizza l'attenzione sui nuovi obiettivi e su alcuni casi di studio, affrontati con un approccio tecnologico, finalizzato all'analisi dei Beni Culturali ed alla divulgazione dei risultati. Quindi, si presentano alcune soluzioni utili all'avanzamento del progetto ed allo sviluppo di altri settori di ricerca interdisciplinari, che riguardano sia la fase di rilievo e la gestione dei *datasets*, con tecniche geomatiche, sia la sperimentazione di nuovi sistemi e interfacce-utente per la fruizione in contesti espositivi e percorsi museali, dove le strategie di comunicazione sono uno dei problemi maggiormente dibattuti.

2.1 Il progetto *Aquae Patavinae*

L'area termale euganea, collocata a nord-est dei Colli Euganei[1] (fig. 2.1), ha sempre interessato studiosi e specialisti afferenti a diverse discipline, per la ricchezza delle evidenze archeologiche e delle risorse del territorio, ma solo grazie al Dipartimento di Scienze dell'Antichità[2] dell'Università di Padova, che nel 2001 ha avuto in concessione lo scavo presso l'area di via Neroniana a Montegrotto Terme (PD), dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto[3], la ricerca si è aperta a tutto il comprensorio, in un'ottica multidisciplinare, al fine di restituire un quadro completo dei processi occupazionali, legati allo sfruttamento delle acque termali, sin dal periodo pre-protostorico.

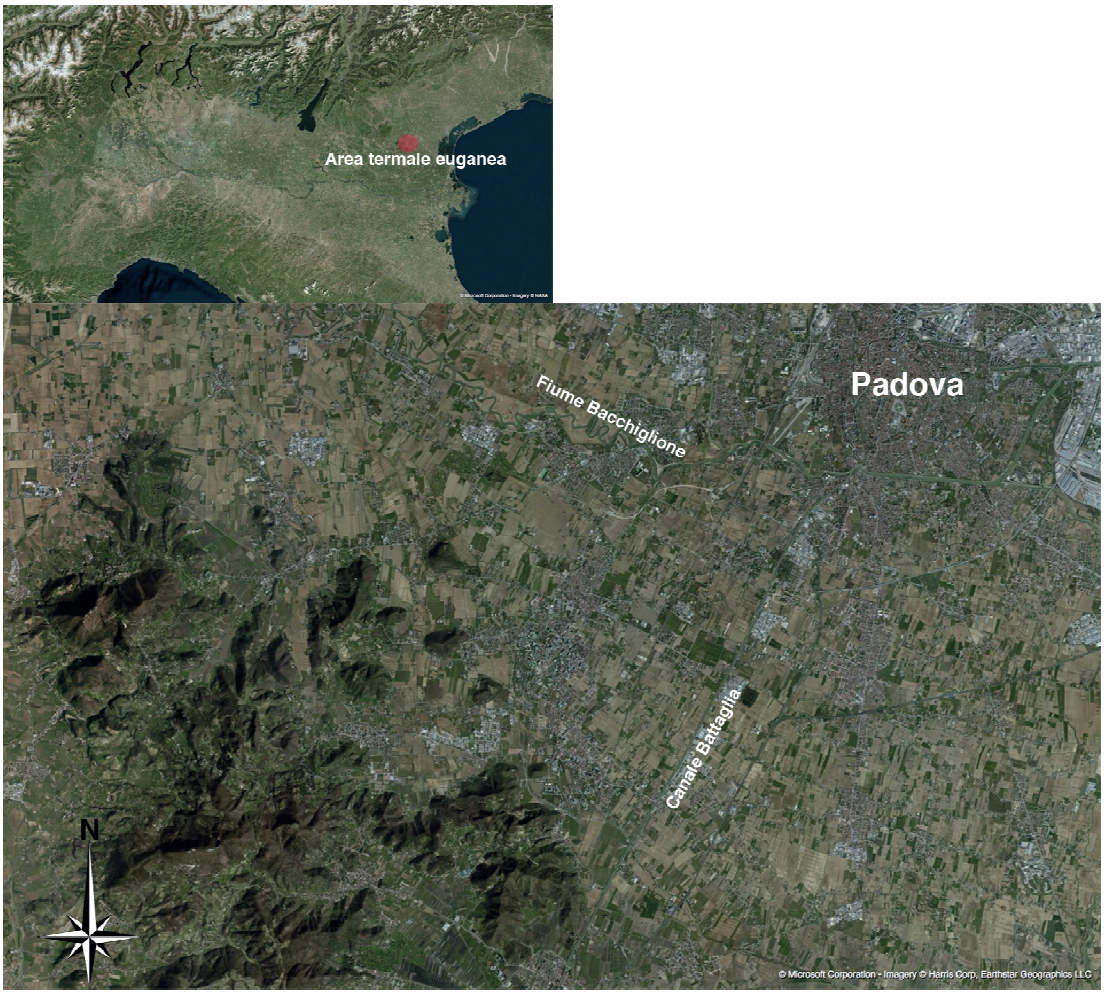


Figura 2.1. Area termale euganea, posta a sud-ovest di Padova e delimitata a nord dal fiume Bacchiglione, a est dal canale Battaglia e a sud – sud-ovest dai Colli Euganei.

[1] Comprende i comuni di Montegrotto Terme, Abano Terme, Torreglia, Galzignano Terme, Arquà Petrarca e Battaglia Terme.
[2]Dal 2006 Dipartimento di Archeologia e dal 2012 Dipartimento dei Beni Culturali, Archeologia, Storia dell'Arte del Cinema e della Musica.
[3] Oggi, Soprintendenza Archeologia del Veneto, in seguito alla riforma del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e del Turismo (MIBACT) attuata con il D.P.C.M. 29 agosto 2014, n.171.

Dal 2005 è attivo il progetto *Aquae Patavinae*[4], nato dalla sinergia tra l'allora Dipartimento di Scienze dell'Antichità dell'Università di Padova, la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto ed il Comune di Montegrotto Terme. L'obiettivo era sviluppare nuovi settori di ricerca, inizialmente a supporto delle indagini archeologiche condotte sui singoli siti, per poi estendersi all'intero contesto paesaggistico, indagando le dinamiche insediative nei diversi momenti storici, e concludere con le fasi di restauro e valorizzazione, attraverso la creazione di un percorso di visita, attrezzato nel territorio, che si completerà con l'allestimento del Museo del Termalismo, nell'area termale euganea.

Inizialmente si sono condotte prospezioni geofisiche, indagini geoarcheologiche, paleobotaniche, archeozoologiche e rilievi con tecniche geomatiche sul singolo contesto di via Neroniana; successivamente, la ricerca si è estesa territorialmente e cronologicamente, con lo studio della documentazione e della cartografia storica, l'analisi interpretativa delle foto aeree, dei dati*LIght Detection And Ranging* (LIDAR) e *RAdio Detection And Ranging* (RADAR) e delle ricognizioni sul campo. Il progetto mira a gestire i *datasets* in un unico ambiente GIS, in cui distinguere le diverse fasi occupazionali.

Il progressivo estendersi dell'area d'indagine, la complessità dei siti e gli obiettivi di valorizzazione hanno portato alla formulazione ed al finanziamento del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN 2008 *Il termalismo nell'Italia romana tra conoscenza e valorizzazione)*[5], con lo scopo di analizzare a livello nazionale gli insediamenti termali di epoca romana e di presentare nuovi strumenti per l'utilizzo, la divulgazione dei risultati e la comunicazione al pubblico.

In un primo momento, la valorizzazione[6] ha interessato le tre aree archeologiche oggi visitabili: l'area di viale Stazione/via degli Scavi, la villa romana di via Neroniana ed il sito termale sotto l'Hotel Terme Neroniane. Gli interventi, oltre ad essere legati alla conservazione delle strutture, attraverso restauri e l'impianto di coperture protettive, hanno riguardato anche l'installazione di supporti informativi e illuminotecnici per l'apertura al pubblico. Parallelamente, nel territorio si è creato un vero e proprio percorso archeologico, disponendo alcuni pannelli informativi, a Montegrotto Terme e poi anche ad Abano Terme, in corrispondenza dei siti visibili e non più visibili o inglobati all'interno di proprietà private, partendo dalla sala allestita presso la stazione ferroviaria di Terme Euganee/Abano/Montegrotto e seguendo un progetto grafico coordinato,

[4] Riferimento alla citazione dell'area termale da parte di Plinio il Vecchio (23-79 d.C), che la lega al *municipium* di *Patavium*. PLIN.*nat.* 2, 227; PLIN.*nat*. 31,61.

[5] L'*équipe*, coordinata dall'Università di Padova, era costituita dal Dipartimento Tempo, Spazio, Immagine, Società dell'Università di Verona, dal Dipartimento di Italianistica, Romanistica, Antichistica, Arti e dello Spettacolo dell'Università di Genova e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche– Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali(CNR-ITABC). GHEDINI, ZANOVELLO 2013, pp. 65-76.

[6] L'ampia trattazione, sugli interventi di conservazione e valorizzazione delle strutture archeologiche, è confluita nei tre volumi che pubblicano gli atti dei convegni: *Aquae Patavinae* 2011, *Aquae Patavinae* 2012 e *Aquae Salutiferae* 2013.

adottato anche per il sito *web*[7], al fine di favorire la comunicazione e la valorizzazione del comprensorio termale euganeo.

L'ultima tappa è il Museo del Termalismo[8], oggi in fase di progettazione, dove si affronteranno, nell'ottica del contesto storico-archeologico nazionale, tutti gli aspetti del fenomeno dalla formazione geologica alle proprietà chimico-fisiche delle acque, focalizzando l'attenzione sull'area euganea.

Il comprensorio, costituito da resti archeologici distribuiti nel territorio, e gli apparati di valorizzazione ben si prestano alla possibilità d'istituire un Parco Archeologico, attualmente in corso di studio, seguendo le indicazioni presentate con le *Linee Guida per la costituzione e la valorizzazione dei parchi archeologici*[9], senza escludere collegamenti con l'esistente Parco Regionale dei Colli Euganei[10].

[7]http://www.aquaepatavinae.it/portale.

[8]Per una definizione di termalismo, vd. ZANOVELLO 2013a, pp. 43-48; *Cura, preghiera e benessere* 2014. Per il Museo del Termalismo, cfr.ZANOVELLO 2013b, pp. 409-414; GHEDINI*et al*. 2013, pp. 155-129.

[9] D.M. 18 aprile 2012; GHEDINI 2011, pp. 9-26; GHEDINI*et al.* 2013, pp. 155-129; GHEDINI*et al.* 2015, pp. 11-40.

[10]GHEDINI 2011, pp. 9-26.

2.2 Fasi storiche e sviluppo insediativo nell'area termale euganea

Le più antiche tracce di popolamento risalgono al Paleolitico Medio e, più precisamente, ad un periodo compreso tra 130.000 e 110.000 anni fa circa. I gruppi di cacciatori-raccoglitori avevano sempre frequentato in prevalenza il settore occidentale dei Colli Euganei, almeno fino al Mesolitico (XVI-VI millennio a.C.) ed al Neolitico (VI-V millennio a.C.), quando l'inizio dell'attività agricola comportò uno spostamento degli insediamenti a ridosso dei corsi d'acqua. Nel VI millennio a.C. si attestano le prime organizzazioni articolate di abitato, come nel caso di Galzignano Terme. Verso la fine del Neolitico vi è un periodo di crisi, che determina un nuovo spostamento verso l'interno dell'area dei colli, dove si ha maggiore possibilità di difesa. Testimonianze significative per il comprensorio euganeo arrivano da Monterosso (Abano Terme), attraverso materiali che documentano rapporti di frequentazione con culture dell'area ligure-lombarda. Nell'età del Rame (IV-III millennio a.C.) le tracce sono sporadiche e, quelle più rilevanti, giungono dallo scavo sistematico condotto presso l'area di via Neroniana a Montegrotto Terme. Tra il XVIII e il XVI sec. a.C. vi sono impianti palafitticoli, come nel laghetto della Costa ad Arquà Petrarca, ma l'intensificarsi dell'occupazione, nell'area collinare, sembra accentuarsi nella fase del Bronzo Recente (XIV-XIII sec. a.C.), quando si prediligono le zone di altura per la pastorizia e quelle di pianura, più umide e paludose, per l'agricoltura, come nel caso degli insediamenti sorti ai piedi del Monte Castello (Montegrotto Terme) e del Monterosso. Tra l'XI e il X sec. a.C., vi è lo sviluppo capillare di villaggi ben strutturati, distribuiti soprattutto lungo i corsi fluviali, con un'economia basata su produzione e commercio artigianale. A questi si legano le prime forme di diffusione urbana degli inizi dell'Età del Ferro (IX-VIII sec. a.C.), che si consolidano nel corso del I millennio a.C., con gli importanti centri di Padova e Este[11].

Tra il VII e il II sec. a.C. si attesta il primo sfruttamento delle acque termali euganee, per fini cultuali, nell'area compresa tra il Colle di San Pietro Montagnon ed il Monte Castello. I rinvenimenti archeologici hanno restituito oggetti votivi legati alla sfera del sacro; infatti, è probabile che la natura suggestiva del luogo, caratterizzato da numerose polle naturali di varia estensione, con acqua calda fumante e dall'odore acre e sulfureo, abbia determinato la nascita di un importante santuario, cui però non corrispondeva un'occupazione stabile e organizzata. La genesi della pianura termale euganea è collegata all'attività morfo-sedimentaria dei fiumi Brenta, Adige e Bacchiglione, che conferisce un carattere paludoso, talvolta marcato da profonde depressioni[12]. Le indagini geoarcheologiche hanno attestato, nell'area indicata per il santuario protostorico, la presenza di un corpo ghiaioso-sabbioso, formatosi con i depositi del fiume Brenta, che genera

[11] ZANOVELLO 2005, pp. 87-116.
[12] ZANOVELLO 2004, pp. 15-23; MIOLA *et al.* 2011, pp. 65-88.

depressioni nel terreno, oltre a lasciar filtrare l'acqua termale in risalita[13]. La zona non era quindi particolarmente adatta all'insediamento stabile.

Con il II sec. a.C. inizia la fase di Romanizzazione e le acque continuano ad essere usate per pratiche cultuali, ma si trae anche vantaggio dalle proprietà curative e benefiche; lo sfruttamento delle risorse territoriali si amplia con l'estrazione di materiale dalle cave di trachite, l'uso della legna, la pastorizia e l'agricoltura, definendo l'importanza economica dell'area[14]. A questo si lega il grande sviluppo edilizio, collocato tra la fine del I sec. a.C. e gli inizi del I sec. d.C., che ha portato alla creazione di una ricca area suburbana, posta sotto la giurisdizione di *Patavium* e costituita da una complessa rete di strutture di grande pregio, collocate tra Montegrotto e Abano, connesse direttamente ed indirettamente alle pratiche termali.

Gli edifici romani, spesso a carattere monumentale, sono dislocati soprattutto nel territorio di Montegrotto, in corrispondenza di tre nuclei principali. I primi due si collocano rispettivamente attorno e sopra il Colle di San Pietro Montagnon ed il Colle Bortolone ed il terzo comprende i siti nell'area di via Neroniana. Infine, vi è una villa rustica, isolata con funzione abitativa-produttiva, posta più a sud, in località Turri. Ad Abano Terme resti di strutture sono ai piedi delle pendici orientali del Colle Monteortone, mentre l'area intorno al Colle Montirone ha restituito un deposito di materiali di pregio, datati all'età augustea[15].

I dati archeologici e gli autori latini hanno evidenziato l'importanza e la ricchezza del comprensorio euganeo, che per il sito della villa romana di via Neroniana, indagato in modo sistematico, continua almeno fino al III-IV sec. d.C., quando si registrano gli ultimi interventi ancora legati all'originaria funzione di pregio dell'edificio. Per gli altri siti è più difficile dare indicazioni precise ed è importante la testimonianza di Cassiodoro[16], che scrive agli inizi del VI sec. d.C. dando un'immagine di abbandono di questi luoghi, prima interessati da grande splendore.

Le fonti storiche non forniscono nuove indicazioni almeno fino all'XI sec., ma è probabile che la fase tardoantica sia stata oggetto di devastazioni, causate dai fenomeni d'invasione, concluse con l'occupazione dei Longobardi, tra la fine del VI e gli inizi del VII sec. d.C. Nell'area limitrofa iniziano a sorgere dei castelli, tra cui quello di Monselice[17], che sembra inglobare nel proprio distretto amministrativo anche l'area euganea. Le risorse termali mantengono la loro importanza ed è probabile fossero controllate e sfruttate con una qualche forma di controllo pubblico; vi è l'interesse da parte dei grandi monasteri dell'epoca per fini assistenziali e caritatevoli.

[13] PRIMON*et al*. 2012, pp. 55-74.
[14] Per approfondimenti, vd. § 2.5.2.
[15] GHEDINI*et al*. 2015, pp. 11-40.
[16] CASSIOD. *Var.* 2, 39.
[17] SETTIA 2005, pp. 117-140.

A Montegrotto Terme, la vitalità dell'insediamento, tra il IX e l'XI sec., è dimostrata dalle evidenze archeologiche, emerse con gli scavi presso l'area di via Neroniana. È probabile, che le installazioni dell'epoca dovessero valorizzare solo alcune delle sorgenti naturali, che sgorgavano dal territorio paludoso, caratterizzandone il paesaggio, con ristagni d'acqua ed un notevole disordine idrografico.
Tra il IX e il X sec. si sviluppail fenomeno dell'incastellamento, che portò alla creazione di molti castelli, nell'area termale euganea, tra cui quello di Montagnon, presso Monte Castello, a Montegrotto. Contemporaneamente il paesaggio si stava gradualmente trasformando, con la messa a coltura di aree più vaste, interessate anche da interventi di bonifica, tra cui l'escavazione del canale Battaglia (1189-1201), che creò una via navigabile tra Padova e Monselice, oltre a mutare profondamente il deflusso della rete idrografica, attraverso unacapillare opera di regimazione delle acque, ancora riconoscibile nella rete di canali che solcano la pianura.
Tra la fine del XII sec. e gli inizi del XIII sec. si riconosce l'impianto di stabilimenti termali ben organizzati, che utilizzavano le sorgenti naturali per fini terapeutici ed economici. A ciò si collegano un maggiore afflusso di frequentatori dei bagni e gli interventi della pubblica amministrazione nella gestione delle risorse termali, cui si affiancano importanti famiglie come i Dondi dell'Orologio[18].
Con la conquista da parte della Serenissima Repubblica di Venezia, alcuni possedimenti e chiese passano alle famiglie veneziane e le terme iniziano ad essere frequentate da visitatori di origine transalpina.
Tra il XVI e il XVIII sec. si scrivono i primi trattati sui bagni[19], alcuni a carattere generale, altri specifici per l'area termale euganea, con l'attenzione rivolta agli aspetti medico-curativi ed alle proprietà chimico-fisiche delle acque. Anche l'Università di Padova era interessata a questi settori di ricerca, promuovendo interventi architettonici-urbanistici presso gli stabilimenti ed inviando esponenti della Scuola di Medicina per seguire gli aspetti terapeutici; inoltre furono istituite due cattedre d'insegnamento con discipline afferenti alle terme, una di profilo umanistico e l'altra medico-scientifico, che furono però di breve durata. Nella seconda metà del 1700, cominciarono ad affiorare i primi rinvenimenti archeologici, tra cui beni mobili e strutture, alcuni conservati fino ai giorni nostri, altri tramandati solo dalla documentazione storica[20]. Tra la fine del 1700 e gli inizi del 1800, inizia un periodo di grande splendore per l'area termale, con importanti trasformazioni territoriali, che portano alla scomparsa di alcuni impianti antichi, per lasciare spazio a nuovi stabilimenti, spesso di pregio, celebrati nelle fonti storiche e frequentati da bagnanti nazionali e

[18] Per approfondimenti, vd. § 2.5.3.
[19] L'opera più ampia è il trattato in 3 volumi di MANDRUZZATO 1789-1804; per una rassegna delle altri autori, vd. ZANCHIN 2013, pp. 19-28.
[20] Cfr. § 2.5, 2.5.1.

internazionali. Parallelamente, s'intensifica lo sfruttamento delle risorse termali, tanto che agli inizi del 1900, molte delle polle naturali iniziano a sparire e si è costretti ad estrarre l'acqua in profondità, a causa dell'abbassarsi della falda freatica.

Un'ulteriore trasformazione, si ha dopo la Seconda Guerra Mondiale, con il grande sviluppo urbanistico, che interessa molti dei nuclei frequentati in passato, come avviene nell'area tra il Colle Bortolone ed il Colle di San Pietro Montagnon, a Montegrotto Terme.

2.3 Scelte metodologiche ed indagini multidisciplinari

La ricerca nel campo dei Beni Culturali ed in particolare in archeologia, non può escludere l'applicazione di metodologie d'indagine scientifico-tecnologiche, come la geomatica, le prospezioni geofisiche, le analisi archeometriche ed altre ancora, per individuare le tracce antropiche e naturali nel territorio, le strutture nei siti e per lo studio, la documentazione, la gestione e la diffusione dei risultati.

Il progetto *Aquae Patavinae* ha sviluppato molti di questi ambiti, lavorando a diverse scale d'acquisizione e iniziando dal sito della villa romana in via Neroniana, per poi estendersi a tutto il comprensorio euganeo.

Di seguito si presentano le metodologie e le tecniche applicate sin dalle prime fasi della ricerca, come supporto al lavoro degli archeologi, per l'individuazione delle aree da scavare e l'interpretazione dei risultati. Con l'ampliamento degli obiettivi d'indagine e di valorizzazione a tutto il comprensorio termale euganeo, si sono scelte anche altre procedure per analisi estensive sul territorio, la gestione dei dati e la fruizione da parte del pubblico, specialista e non.

2.3.1 Le ricerche sul territorio

Si è richiamata più volte la complessità geologico-ambientale del comprensorio termale euganeo, il cui studio ha portato ad integrare più ambiti disciplinari, per chiarire l'evoluzione paleoambientale. La fuoriuscita naturale delle acque calde termali, che durò fino agli inizi del XX sec., era determinata dalla genesi morfo-sedimentaria del territorio[21]. Le aree depresse, documentate soprattutto a Montegrotto Terme e ad Abano Terme, si sono andate attenuando, grazie ai vari interventi di bonifica, eseguiti in più momenti storici[22].

Le indagini hanno visto l'integrazione di dati *Remote Sensing*, con l'obiettivo d'individuare e classificare le tracce antropiche e naturali. La ricerca geoarcheologica[23] si è focalizzata su Montegrotto Terme, restituendo anche elementi importanti per l'area limitrofa, attraverso l'analisi d'immagini satellitari[24], foto aeree ortogonali con voli dal 1955, foto oblique acquisite in occasione del progetto Via Annia[25] e cartografia storica, relativa al periodo compreso tra il XVI e il XIX sec.; infine, si sono considerate le forme geologiche, già identificate nel territorio, come i dossi fluviali,

[21] Per la genesi del termalismo ed i processi che ne determinano il fenomeno nell'area euganea, vd. MOZZI 2005, pp. 28-55; FABBRI 2011, pp. 169-179; FABBRI *et al.* 2013, pp. 11-17; POLA*et al.* 2014, pp. 19-28.

[22] Cfr. § 2.2.

[23] PRIMON*et al.* 2012, pp. 55-74; inoltre si è consultata la relazione presentata da Sandra Primon al termine del lavoro coordinato da Paolo Mozzi(Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova).

[24] Disponibili *online* su *Google Earth* e *Flash Earth*; ortofoto multibanda (visibile e infrarosso vicino) acquisite da Telespazio nel 2007.

[25] Il progetto Via Annia (2005-2010) era coordinato dalla dott.ssa Francesca Veronese, responsabile del Museo Archeologico, presso i Musei Civici agli Eremitani, del Comune di Padova.

le aree soggette a depressione ed i depositi colluviali. Grazie alle foto oblique è stato possibile riconoscere le tracce di elementi sub-superficiali, confermati con una certa affidabilità per più periodi, attraverso analisi multi-temporali. I risultati della fotointerpretazione evidenziano numerose tracce paleoidrografiche, soprattutto localizzate nell'area di bassa pianura di Montegrotto Terme che riguardano, in particolare, paleoalvei probabilmente connessi a canali o altre vie d'acqua ancora presenti[26]. Le tracce antropiche sono distinte in lineari e areali e sono confrontate con le strutture georeferenziate dalla cartografia storica o dalle piante di scavo, per poterle analizzare, come ad esempio, l'orientamento. Il lavoro è stato confrontato anche con il sistema parcellare, elaborato da Fabio Saggioro[27], confermando la mancanza di tracce paleoidrografiche nell'area compresa tra il Colle Castello, il Colle di San Pietro Montagnon, il Colle Bortolone e via Neroniana, a Montegrotto. Infine, grazie alla cartografia storica e alle foto aeree degli anni '50 del secolo scorso, è stato possibile delineare una cronologia relativa di riferimento e identificare alcune delle tracce individuate.

L'analisi e l'interpretazione della documentazione storica si è rivelata utile per restituire gli elementi del territorio perduti o obliterati, in seguito alla costruzione di strutture moderne. I dati più significativi riguardano l'individuazione dei percorsi idrografici e la caratterizzazione della pianura termale euganea, prima dello scavo del canale Battaglia, articolata da depressioni e piccole sorgenti, ma anche i percorsi viari, al fine di comprendere i rapporti con gli insediamenti antropici.

Altre analisi estensive, condotte attraverso lo studio della cartografia storica, hanno posto l'attenzione sulle trasformazioni territoriali nelle varie fasi di frequentazione a Montegrotto, integrando dati LIDAR per classificare le tracce di epoca medioevale, presenti sulle alture, e dati RADAR per le attestazioni pre-protostoriche nelle zone di pianura[28].

La documentazione ha evidenziato gli interventi di bonifica, le divisioni agrarie e la stratificazione particellare, ed ha cercato di determinare l'attività antropica attorno alle fonti termali ed alla fitta rete di canali.

I dati RADAR, acquisiti tra dicembre 2007 e febbraio 2008, hanno riportato anomalie rettilinee, il cui orientamento è stato confrontato con quello delle strutture archeologiche, già documentate nel territorio. Si sono poi integrati gli esiti delle analisi condotte sulle foto aeree, acquisite dalla metà

[26] Le medesime tracce sono state individuate anche dalle analisi archeologiche condotte sulle foto aeree, cfr. BROGIOLO*et al.* 2012, pp. 15-53.

[27] Relazione di Fabio Saggioro, sul lavoro di aerofotointerpretazione archeologica, condotto nei territori di Montegrotto Terme e Due Carrare, all'interno del progetto *Aquae Patavinae*.

[28] BROGIOLO*et al.* 2012, pp. 15-53. Per la parte sulla cartografia storica, cfr.Tesi di Dottorato di Ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici di E. FASSON, indirizzo in Scienze Archeologiche,*Il contributo della cartografia di epoca veneziana e di XIX secolo alla ricostruzione del paesaggio antico di Montegrotto Terme e del bacino termale euganeo,* ciclo XXVI, 2014, supervisori P. Zanovello, E. F. Ghedini.

del XX sec., individuando tracce di un sito pre-protostorico, noto in letteratura e collocato ai piedi delle pendici meridionali del Monte Castello[29].

Le indagini LIDAR hanno interessato anche l'area al di fuori del comprensorio di Montegrotto Terme, poiché il terreno pianeggiante non presentava elementi importanti e la mancanza di riferimenti cronologici comportava altre criticità. Il Monte Castello ha restituito tracce antropiche a carattere abitativo ed agricolo, testimoniando la presenza di un insediamento ben articolato e fortificato, che negli ultimi anni è stato oggetto d'indagini archeologiche, condotte dal gruppo di Archeologia Medioevale del Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, con l'obiettivo di comprenderne l'evoluzione storica. Altre anomalie sono state individuate nei Monti Croce, Ceva e Nuovo, a testimoniare un'organizzazione del territorio dove lo spazio agricolo-produttivo ben si legava agli insediamenti. Le tracce, individuate nella parte sud-orientale del Monte Nuovo, sono di più difficile interpretazione; probabilmente si tratta di una tipologia d'insediamento riferibile ad un piccolo villaggio. Infine, l'area compresa tra Montegrotto e Battaglia ha restituito un paesaggio antropico con vari tipi d'insediamento, non meglio identificati.

I risultati delle indagini condotte su Montegrotto sono stati utili per pianificare le campagne di ricognizione[30] (febbraio e marzo 2011 e 2012), dove si è cercato un riscontro agli esiti del *Remote Sensing,* per poi focalizzare l'attenzione sulle aree, individuate con l'analisi della cartografia storica al fine di localizzare le tracce antropiche e le sorgenti termaliantiche e per eseguire alcuni carotaggi. Purtroppo, si sono potute investigare aree piccole, a causa dell'inaccessibilità o della destinazione d'uso, riuscendo a fornire solo risultati parziali. I dati delle ricognizioni sono stati opportunamente georeferenziati in un GIS, consentendo il confronto con i risultati di altre indagini e mettendo a disposizione del ricercatore più strumenti per l'analisi del territorio.

2.3.2 Le ricerche geofisiche sulle strutture archeologiche

Spostando l'attenzione sui singoli siti, l'area della villa romana di via Neroniana è stata interessata da una sistematica ricerca archeologica, supportata da una collaborazione multidisciplinare, i cui risultati hanno permesso di comprenderne l'evoluzione storica.

Nel 1988, con i primi interventi di scavo da parte della Soprintendenza Archeologica del Veneto, a seguito degli affioramenti di un tratto dell'*opus sectile* del vano 1, si eseguirono prospezioni geofisiche con *georadar*[31], condotte da E. Finzi, coprendo un'area di 105 m in senso est-ovest e 120

[29] BOARO 2012, pp. 75-88.

[30] BASSO*et al.* 2012, pp. 217-236; CERATO *et al.* 2013, pp. 393-407.

[31] Le campagne di prospezioni geofisiche sono state condotte da E. Finzi, tra il 1989 e il 2006, con il contributo di più collaboratori e tesisti. Per le indagini svolte nel 1988 e nel 2000, vd. VETTORE 2004, pp. 29-34; Tesi di laurea in Geologia di L. Vettore,*Implementazione di procedure software per il trattamento di dati GPR. Il caso di Montegrotto Terme (PD)*, 2002, relatore E. Finzi; per uno sguardo complessivo, vd. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della

m in senso nord-sud. Emersero tracce di strutture nell'estremità nord-ovest e altre al centro, in senso nord-sud e verso est, senza restituire indicazioni precise sulla geometria. Lungo il lato occidentale, le riflessioni erano dovute a resti di fondazione; inoltre, si riscontrò una traccia continua, che sembrava collegare i limiti meridionali, orientali e occidentali.

Nel 2000, a seguito della concessione delle indagini all'allora Dipartimento di Scienze dell'Antichità dell'Università di Padova, furono eseguite ulteriori prospezioni *georadar*, integrate da altre campagne svolte tra il 2001 e il 2002 che beneficiando dell'evoluzione tecnologica, definirono più dettagliatamente le zone d'interesse per "guidare" correttamente lo scavo. Si è proceduto anche al rilievo topografico classico e satellitare *(Global Positioning System* – GPS), per elaborare una griglia con punti di appoggio ed un sistema di riferimento cui sovrapporre dati geofisici, ortofoto o altri documenti. L'area è stata indagatainteramente, restituendo con maggiore dettaglio la distribuzione spaziale delle anomalie, con la loro profondità e un più alto livello di risoluzione. Nel 2003, al lavoro di fotointerpretazione condotto da Cristina Zamboni[32], si sono aggiunte acquisizioni da velivolo ultraleggero, eseguite da Giovanni Toninello[33], evidenziando strutture nell'area compresa tra il nucleo di ambienti posto ad est e quello centro-meridionale, in cui il *radar* non aveva dato riscontri significativi. Tra il 2005 e 2006, si è intervenuti con l'obiettivo di verificare i dati, impiegando altre tecniche geofisiche[34], tra cui la magnetometria, seguita da sondaggi manuali-meccanici, per determinare la consistenza degli strati di suolo, e la geoelettrica, svolta su alcuni profili meridionali, al fine di stabilire la natura delle anomalie. La prima ha evidenziato elementi articolati e geometricamente regolari che collegano il blocco centrale a quello meridionale e ad una parte estesa del corpo di fabbrica. I sondaggi manuali hanno restituito informazioni sulla caratterizzazione del materiale, posto in corrispondenza di alcune delle presunte fondazioni, e confermato il livello di profondità indicato dalle prospezioni. La geoelettrica ha rimarcato i risultati della magnetometria e ha presentato, con maggiore dettaglio, la geometria degli elementi sepolti, nell'area centro-meridionale; infine, le indagini di resistività hanno confermato la presenza di murature.

Le prospezioni geofisiche si sono concluse tra il 2006 e il 2007, con una campagna magnetometrica condotta da L. Cerri[35], che ha restituito importanti elementi per comprendere la planimetria generale del complesso edilizio, estendendosi oltre i limiti settentrionali dell'area demaniale. Le anomalie

---

Terra di L. Vettore, *Prospezioni Geofisiche ad alta risoluzione: applicazioni archeologiche ed esportabilità in contesti ambientali*, ciclo XIX, 2008, supervisori E. Finzi, A. Zaja.

[32] ZANOVELLO, BASSO 2002, pp. 31-35.

[33] ZANOVELLO, BASSO 2004, pp. 15-24.

[34] Tesi di laurea in Geologia di D. Betti,*Prospezioni magnetiche ed elettriche nel sito archeologico "Terme Neroniane" (Montegrotto Terme, Pd)*, 2006, relatori E. Finzi e A. Zaja; inoltre, cfr. FINZI*et al.* 2007, pp. 182-190.

[35] ZANOVELLO, BASSO 2007, pp. 19-28; inoltre si è consultata la relazione sul lavoro svolto da L. Cerri, all'interno del Progetto *Aquae Patavinae*.

hanno evidenziato la presenza di strutture murarie, che seguono lo stesso orientamento di quelle già esposte con lo scavo, ampliando notevolmente le dimensioni dell'edificio romano.

Nel 2006, il Laboratorio di Rilevamento e Geomatica dell'Università di Padova ha condotto una campagna di acquisizioni fotogrammetriche, con *laser scanner* e GPS, per elaborare un *Digital Terrain Model* (DTM), che integrato ai fotopiani di scavo ed ai dati geofisici, all'interno di un *geo-database*, ha presentato informazioni utili per successive analisi e interventi[36].

L'integrazione delle diverse tecniche ha reso evidente la distribuzione degli ingombri ed i rapporti tra le strutture esposte e non ancora scavate, oltre alla loro ipotetica destinazione d'uso, considerando i vari elementi[37].

Alle indagini archeologiche, si è affiancato anche un webGIS, attivo dal 2006 al 2012 (termine delle attività di scavo), curato da P. Grossi con l'obiettivo d'informatizzare e georeferenziare i dati del territorio e renderli disponibili *online,* con strumenti per la consultazione e l'archiviazione dei risultati della ricerca, fruibile dai responsabili delle attività e dal pubblico, con diverse modalità di accesso[38].

2.3.3 Tecnologie per la valorizzazione a Montegrotto Terme

Con l'avvio del PRIN 2008, le applicazioni in campo tecnologico sono state indirizzate verso nuove prospettive di valorizzazione, mantenendo come riferimento gli obiettivi del progetto *Aquae Patavinae*.

Tra il 2010 e il 2011, il CNR-ITABC[39] ha condotto un lavoro estensivo, su tutto il territorio di Montegrotto Terme, focalizzando l'attenzione sulle maggiori evidenze archeologiche, datate al periodo romano. L'obiettivo era garantire una documentazione dettagliatadelle strutture, gestibile in un sistema condiviso e impiegabile a supporto delle tradizionali tecniche di analisi. Si è proceduto poi, all'elaborazione d'ipotesi ricostruttive degli edifici, col fine di valorizzare i dati storico-archeologici, mediante la fruizione su piattaforme *online* e installazioni museali. L'area archeologica di viale Stazione/via degli Scavi è stata oggetto di un'acquisizione sistematica,

[36] ZANOVELLO, BASSO 2007, pp. 19-28; ACHILLI*et al.* 2008, pp. 83-99; Tesi di Dottorato di Ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici di G. AGUGIARO, indirizzo in Scienza e Tecnologia per i Beni Archeologici e Architettonici,*Advanced methologies for acquisition, integration and analysis, management visualisation and distribution of data in the framework of archaeological and architectonical heritage*, ciclo XXI, 2009, supervisori V. Achilli, T. H. Kolbe.

[37] I risultati delle campagne annuali di scavo sono stati sistematicamente pubblicati in *Quaderni di Archeologia del Veneto*, dal 2002 al 2012 e nel *database FastiOnline,* dal 2006 al 2012,http://www.fastionline.org.Inoltre, per le più recenti interpretazioni sul sito di via Neroniana, cfr. gli atti dei 3 convegni, indicati alla nota 6; ZANOVELLO*et al*. 2010, pp. 45-79; GHEDINI*et al*. 2015, pp. 11-40.

[38] GROSSI, PIROTTI 2009, pp. 113-122; GROSSI, PIROTTI 2012, pp.171-182.

[39] PESCARIN*et al*. 2011, pp. 62-70; FANINI *et al.* 2011, pp. 64-70; PESCARIN*et al.* 2012, pp. 309-326; CERATO*et al*. 2012, pp. 327-339; SALONIA 2012, pp.341-355; FANINI*et al*. 2013, pp. 431-449; PESCARIN 2014a, pp. 129-133.

interessando tutte le strutture e integrando tecniche *reality-based*[40] per il rilievo 3D terrestre (*image-based e range-based*) e da velivolo con sistema *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)[41]. Nella villa romana di via Neroniana, si è operato con tecnica *image-based* su tre superfici pavimentali, a supporto del lavoro interpretativo degli archeologi, condotto con tecniche tradizionali[42]. Infine, si è svolta una campagna di rilievo *range-based*, coordinata da G. Salemi, all'interno dell'allora Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento, per il rilievo del complesso termale sotto l'Hotel Terme Neroniane.

Si è seguito l'approccio *reality-based* per la ricostruzione degli edifici in alzato, basandosi sui dati del rilievo 3D, acquisiti nell'area di viale Stazione/via degli Scavi e nel sito sotto l'Hotel Terme Neroniane. Negli altri casi, cui si aggiunge la villa rustica in località Turri, si sono usate come fonte storica le piante, ottenute dalle indagini di scavo. La collaborazione con gli archeologi, che hanno curato lo studio delle strutture e dei materiali per l'interpretazione dei siti, è stata fondamentale per avere una proposta ricostruttiva filologica.

L'ampio lavoro sulla villa romana di via Neroniana è stato condotto all'interno del Dipartimento dei Beni Culturali ed in collaborazione con la Soprintendenza Archeologia del Veneto ed ha affrontato lo studio interpretativo delle evidenze archeologiche, avvalorate dalle indagini multidisciplinari di cui si è già parlato, per presentare un'ipotesi ricostruttiva dell'intero complesso, partendo dalla planimetria di scavo e restituendo il modello, articolato in ambienti interni ed esterni di grande pregio[43]. I risultati sono stati integrati al lavoro del CNR-ITABC e hanno arricchito un sistema di valorizzazione, attivo su più canali, quali il sito *web* del progetto[44], la pannellistica informativa posizionata in prossimità delle aree archeologiche, un *virtual-tour* fruibile al pubblico in visita nel sito di via Neroniana, su dispositivo mobile che propone un percorso virtuale e informativo, all'interno della villa romana ricostruita. Infine, il CNR-ITABC ha curato la sperimentazione di più interfacce-utente, fruibili su installazioni e basate su sistemi *touch*, *multi-touch* e interazione naturale[45].

[40] Cfr. § 3.1.
[41] Menci Software Srl ha curato il rilievo da aeromobile e l'elaborazione dei dati.
[42] GREGGIO *et al.* 2013, pp. 415-430; BRESSAN *et al.* 2013, pp. 177-188.
[43] BRESSAN *et al.* 2012, pp. 269-295; BRESSAN *et al.* 2013, pp. 361-392; GHEDINI *et al.* 2015, pp. 11-40.
[44] http://www.aquaepatavinae.it/portale.
[45] I sistemi sono stati presentati e resi fruibili al pubblico, nell'ambitodella mostra Archeovirtual, svolta durante la Borsa Mediterranea del Turismo Archeologico di Paestum (Salerno), nel 2011; inoltre, con l'evento *"A passeggio nel passato… Visita virtuale interattiva nella Montegrotto antica"*, nei giorni 17-19 maggio 2012, presso il Palazzo del Turismo di Montegrotto Terme.

2.4 Nuovi obiettivi e tecnologie per la valorizzazione e la comunicazione

L'analisi del lavoro pregresso è stata fondamentale per comprendere le peculiarità del comprensorio termale euganeo e le esigenze di ricerca e valorizzazione del progetto *Aquae Patavinae*; inoltre, è emersa l'importanza della collaborazione e dello scambio tra diversi ambiti disciplinari. Qualche criticità era legata soprattutto alla gestione dei numerosi *datasets*territoriali, accuratamente pubblicati nei vari *report*, ma non ancora gestiti in un sistema unitario, portando così a considerare singolarmente o parzialmente i risultati e creando delle possibili lacune nella documentazione e nell'estrazione dell'informazione complessiva. La riorganizzazione dei dati e la creazione di un sistema per la loro gestione sono alcuni degli obiettivi sviluppati dal percorso di dottorato e ancora in corso, visto l'ampio lavoro pluridecennale. Questo ha costituito un'occasione importante per analizzare gli esiti di più approcci metodologici, acquisire competenze e capacità critiche e intraprendere nuovi percorsi di ricerca, relativi allo studio di alcune aree territoriali[46], alle scelte di gestione e valorizzazione. Si sono esaminate le procedure adottate in passato per integrarle con i nuovi sviluppi tecnologici e per migliorare il livello qualitativo e quantitativo dei risultati. I nuovi dati sono stati integrati con i precedenti, con l'obiettivo di presentare proposte per la fruizione da parte del pubblico, adatte a più contesti comunicativi e a trasmettere il valore informativo, presentando le varie fonti, impiegate per l'interpretazione.

L'"allineamento" con il progetto *Aquae Patavinae* ha fornito anche altri interessanti casi di studio[47], spostando l'attenzione sui beni archeologici, rinvenuti nel comprensorio termale euganeo e conservati in luoghi diversi, con l'obiettivo di restituirne il modello 3D, per la ricontestualizzazione e valorizzazione all'interno del Museo del Termalismo. Da quest'approccio si sono sviluppati nuovi ambiti di ricerca, sperimentando e integrando più tecniche e sistemi, per l'analisi e la visualizzazione.

Restano aperti altri problemi, comuni alle diverse tipologie di bene culturale e relativi alla gestione e alla fruizione dei dati nei contesti museali, dove la prima sfida è suscitare l'interesse del pubblico, portandolo a intraprendere la visita, per poi tenerne alta la spinta motivazionale, con l'allestimento di esperienze emozionali all'interno del percorso, senza tralasciare gli aspetti educativi, che restano l'obiettivo principale. In questo quadro così complesso, il bene culturale non deve coinvolgere il pubblico solo per il suo valore estetico, ma deve riuscire a comunicare la sua importanza storico-culturale. Le applicazioni tecnologiche ben s'inseriscono in quest'ambito perché offrono strumenti di comunicazione e visualizzazione, trasmettono il valore semantico dell'oggetto e creano relazioni con altri beni o contesti.

[46] Vd. § 2.5.3.
[47] Cfr. § 2.5, 2.5.1 e 2.5.2.

Il problema di base è organizzare i singoli elementi all'interno del percorso, trovando il giusto rapporto reciproco, ed individuare il momento e la forma in cui inserire il supporto tecnologico, senza creare ridondanza o proporre sistemi di non facile comprensione e interazione. Inoltre, si devono considerare anche altri aspetti, legati alla definizione di *museo*, definizione adottata dallo Statuto dell'*International Council of Museum* (ICOM) durante la XXI Conferenza Generale, tenuta a Vienna (Austria), nel 2007: "*A museum is a non-profit, permanent institution in the service of society and its development, open to the public, which acquires, conserves, researches, communicates and exhibits the tangible and intangible heritage of humanity and its environment for the purposes of education, study and enjoyment"*[48]*;*ed alla definizione di *museo virtuale,* elaborata più recentemente con il progetto europeo *Virtual Museum Transitional Network* (V-Must.net), attivo tra febbraio 2011 e gennaio 2015[49] "*A virtual museum is a communication product made accessible by an institution to the public that is focused on tangible or intangible heritage. It typically uses interactivity and immersion for the purpose of education, research, enjoyment, and enhancement of visitor experience. Virtual Museum are usually, but not exclusively delivered electronically when they are denoted as online museum, hypermuseum, digital museum, cybermuseums or web museums"*[50].

Il percorso di ricerca sviluppa un'analisi su questi aspetti, considerando i parametri che oggi devono essere seguiti all'interno di un'esposizione museale e, attraverso le sperimentazioni condotte sui casi di studio, propone nuove soluzioni per configurare sistemi che diffondano il valore storico-culturale del bene, allineandolo con il percorso espositivo in cui lo stesso è inserito.

L'istituzione di nuovi musei o di percorsi tecnologici, in strutture già esistenti, non può trascurare la tematica espositiva e tantomeno il contesto culturale, oltre alla caratterizzazione ed alla presentazione dei *datasets*.

[48]http://icom.museum/the-vision/museum-definition.
[49]PESCARIN 2014a, pp. 129-133; http://www.v-must.net.
[50]PESCARIN 2014b, p. 153.

2.5 Casi di studio

Come anticipato nel paragrafo precedente, l'allineamento con il progetto *Aquae Patavinae* ha determinato il lavoro sulla ricontestualizzazione di alcuni dei beni archeologici, conservati al di fuori del comprensorio euganeo e lo studio delle trasformazioni territoriali in alcune aree termali.

Nel primo caso, l'attenzione si è focalizzata sulla statua maschile in marmo bianco (fig. 2.2), rinvenuta quasi integra a Montegrotto Terme nel 1766, in occasione di un lavoro di riqualificazione, cui seguirono i primi affioramenti di reperti archeologici. La famiglia Dondi dell'Orologio, proprietaria dei terreni, la donò alla Repubblica di Venezia, come testimonia l'iscrizione posta nel basamento moderno, che sostiene l'opera, oggi conservata al Museo Archeologico Nazionale di Venezia[51]. Altri beni da ricontestualizzare, per l'alto valore storico-culturale, sono i tre cippi confinari (figg. 2.3 e 2.4), che dal 141 a.C., tramite l'intervento del senato romano con la figura di Lucio Cecilio Metello Calvo, sancirono il confine tra i territori di Este e Padova, assegnando l'amministrazione dell'area termale euganea al *municipium* di *Patavium*. Si tratta dell'iscrizione rupestre del Monte Venda, incisa sulla roccia del monte e scoperta nel 1670, ma recuperata solo nel 1767, grazie ad una frana del versante, che trascinò con sé il pezzo. Nel 1834 fu donata al museo di Este[52], dove è conservato anche il cippo di Galzignano, rinvenuto nel fondo di proprietà del conte Luigi Donà dalle Rose a Galzignano Terme, nel 1922. Infine, il cippo di Teolo, diviso in 2 frammenti e scoperto nel comune omonimo nel 1837, è custodito presso i Musei Civici agli Eremitani di Padova[53].

Per restituire i beni archeologici al loro contesto territoriale e valorizzarli nel Museo del Termalismo, si è proceduto alla digitalizzazione tridimensionaleintegrando tra loro tecniche di rilievo 3D *reality-based* ed ottimizzando le procedure metodologiche, considerando le caratteristiche fisiche del reperto, tra cui dimensioni, forma,colore, materiale e relative proprietà, oltre all'ambiente di conservazione. I risultati, oltre a rendere fruibile l'oggetto nel costituendo museo, sono stati impiegati per sperimentare nuovi sistemi di visualizzazione e interazione in ambito espositivo.

Il lavoro sul territorio si è sviluppato considerando i risultati e le esigenze delle indagini precedenti, focalizzate sulla classificazione degli elementi, che hanno caratterizzato il paesaggio fino al XIII sec., con un'estensione spesso limitata a Montegrotto Terme. L'eccezione è rappresentata dalle

[51] ZANETTI 1766; MANDRUZZATO 1804, pp. 15-18; ANTI 1930, pp. 111; TRAVERSARI 1958, pp. 74-75;BONOMI 1997, pp. 116-117; GHEDINI, BASSANI 2014, pp. 265-282; www.aquaepatavinae.it.
[52] Museo Nazionale Atestino.
[53] Per gli studi condotti sui cippi cfr.BUONOPANE 1992, pp. 207-223; CRESCI MARRONE 2004, pp. 29-39.

ricerche di S. Primon ed E. Fasson, che hanno ampliato il panorama cronologico e territoriale, contribuendo in parte all'impostazione metodologica del percorso[54].

Si è iniziato con uno studio sistematico della documentazione storica relativa all'area termale euganea, focalizzando l'attenzione nel periodo compreso tra il XV sec. e la prima metà del XX sec., col fine di valutare le trasformazioni susseguitesi nel territorio ed eventuali rapporti con gli insediamenti antichi. Anche in questo caso, si sono organizzati i *datasets* in unico sistema, aggiungendo ai metadati alcuni parametri mancanti, come l'indicazione cronologica.

Sono stati ampliati i limiti della ricerca, spostando l'attenzione all'area di Monteortone ad Abano Terme, in cui sono emerse strutture datate alla prima età imperiale, attualmente in corso di studio.

La digitalizzazione bidimensionale degli elementi georeferenziati e rapportati tra loro di Montegrotto e Monteortone, ha fornito importanti spunti interpretativi e la base per elaborare una proposta di ricostruzione tridimensionale, che, presentata insieme alle ipotesi ricostruttive delle strutture di età romana[55], costituirà un utile strumento di valorizzazione per mostrare al pubblico l'evoluzione storico-culturale del territorio ed il legame tra gli insediamenti e le risorse termali.

2.5.1 Statua maschile in marmo bianco

Il rinvenimento si colloca nei primi mesi del 1766 e, secondo l'attestazione di Girolamo Zanetti[56], a poca distanza dalla moderna Abano e ancor meno dalla chiesa di San Pietro Montagnon, nei poderi di proprietà della famiglia Dondi dell'Orologio, da parte di alcuni contadini che volevano scavare un fosso. Il riferimento indica l'attuale territorio di Montegrotto Terme, poco più tardi descritto da Mandruzzato, che cita la precedente attestazione, ricordando che il primo a descrivere e disegnare i reperti fu Antonmaria Zanetti, il cui lavoro rimase inedito. Inoltre, colloca nello stesso luogo del ritrovamento della statua, accompagnata da altri reperti, gli interventi di scavo, seguiti a queste prime scoperte, che portarono alla luce 3 vasche termali, oggi parzialmente risparmiate dall'urbanizzazione moderna, appartenenti all'area archeologica di viale Stazione/via degli Scavi[57].

[54] Cfr. § 2.3.1.
[55] Cfr. § 2.3.3.
[56] ZANETTI 1766.
[57] MANDRUZZATO 1804, pp. 15-18;la stessa interpretazione sul luogo del ritrovamento è presente anche in LAZZARO 1981, pp. 125-126, 229.

≪.. Ma poi manco sfortunate furono le scoperte che si fecero pochi anni addietro da vicino ad uno de predetti colli detto Monte Bortolon, e Monte Groto.

III. Le prime memorie di tali scoperte discendono al 1766 e le dobbiamo all'ottimo, e colto cittadino Co: Antonio Pimbiolo era P. P. di Medicina Teorica nella nostra Università, il quale dando ragguaglio delle ritrovate cose agli Eccellentissimi Riformatori dello Studio Contarini, Tron, Grimani, ottenne, oltre all'approvazione del di lui zelo patrio, che fosse incaricato seriamente il colto Bibliotecario Veneto Antonmaria Zanetti di recarsi sul luogo, e di prendere in esatto disegno.

IV. Vari pezzi di tegola colla marca della figlina, un Bagno selciato di marmo, un acquedotto di pietra entrante nel Monticello di S. Pietro Montagnone, un pezzo di colonna scanalata, una statua antica di fino, e candido marmo di eccellente lavoro, alta più di cinque piedi, ed un frammento di altra statua di mole maggiore furono dal suddetto Zanetti osservate, e disegnate, e poscia descritte in una sensata, e dotta Memoria, nella quale indica eziandio di aver ivi veduto molti pezzi laminari di fini, e scelti marmi di svariato lavoro, molti cubi di vetro azzurro, e di altri colori; ed in fine non pochi dispersi residui di manco nobili fabbricati, e di Bagni.

V. Restò inedito questo scritto, e seco restarono gli oggetti disegnati, se non che nello stesso anno 1766 Girolamo Zanetti pubblicò una sua Dissertazione sopra quelle scoperte, e vi pose in fronte il rame di quella statua da lui raffigurata per l'immagine d'Esculapio, nonostante che sia priva delle usate insegne del bastone, della serpe ec., avendo riflesso al sito in cui fu ritrovata ed all'antica costumanza di collocare ne' Bagni il simulacro di questo Nume..

.. Che ne sia, resti il giudizio agl'intelligenti di simili materie, a' quali presento il disegno di essa Statua e delle migliori cose ritrovate nel medesimo luogo delle quali mi faccio ora a raccontare.

VI. Vicino al suddetto Monte – groto dietro peravventura delle accennate tracce dal 1781 al 1788 il fu March. Gio: Antonio Dondi Orologio fece eseguire delle scavazioni e discoprì le tre bellissime e grandi vasche di marmo (di cui ne presento la figura distinta) e talmente disposte che indicano l'esistenza di altre niente meno grandi e sontuose, ed insieme quella di diverse magnifiche fabbriche. ≫[58]

[58] MANDRUZZATO 1804, pp. 16-18;

I tratti stilistici datano la statua tra il 125 ed il 150 d.C., realizzata in marmo bianco a grana fine, già danneggiato e corroso al momento del ritrovamento, probabilmente a causa del terreno sulfureo e nitroso, come attestato da G. Zanetti. È alta 1,96 m, ma la sistemazione sopra ad una base moderna l'ha portata a raggiungere un'altezza complessiva di 2,49 m (fig. 2.2). Il personaggio che rappresenta ha dimensioni maggiori rispetto al reale e riporta una figura maschile matura, stante, con busto nudo, piedi scalzi, vestita solo del mantello del tipo greco (*himation*), posto a coprire la parte inferiore del corpo e la spalla sinistra. Il volto è leggermente girato verso destra, con barba fitta e corta, oltre ad essere incorniciato da una capigliatura arricciata, seguendo la moda inaugurata dalla ritrattistica di età adrianea-antonina. Il braccio sinistro è rivolto verso l'alto, probabilmente per sorreggere un oggetto oggi perduto, insieme alla mano, mentre il destro poggia su un vaso, retto da un pilastrino. Il vaso rovesciato richiama il tema dell'acqua e la sua natura benefica; alcuni studiosi interpretano la statua come la rappresentazione di una divinità connessa al culto termale euganeo[59]. Altri, invece, propongono si tratti della raffigurazione di un personaggio locale, del quale probabilmente si volevano celebrare le opere di munificenza, forse compiute nell'area delle *Aquae Patavinae*. Inoltre, si è proposto un confronto con un'altra statua molto simile, oggi perduta e attestata solo da un disegno, proveniente dal sito termale di Cesadoro, nei pressi di Perugia, che riproduce le fattezze di una figura maschile, vestita allo stesso modo del personaggio di Montegrotto e sostenuta da un puntello, in cui è presente un vaso, interpretato come attributo, che sembra rinviare genericamente alla positività dell'acqua, da sempre considerata come un elemento naturale sacro[60].

Le dimensioni e la buona qualità del marmo indicano una ricca committenza, ma lo scultore doveva essere provinciale[61] e senza grandi abilità o modelli di riferimento. Originale è il tipo iconografico, ispirato ad uno schema noto soprattutto per le divinità e probabilmente legato alle esigenze del richiedente. Statue di questo tipo erano esposte in luoghi privati e pubblici, in genere sopra basamenti con iscrizione, con funzione decorativa, ma anche per ricordare alla popolazione l'opera compiuta dal personaggio. La visione ottimale è dal basso; di conseguenza, s'ipotizza una collocazione sopra ad un piedistallo ed all'interno di una nicchia, come sembra confermare la lavorazione meno curata della parte posteriore. Non è possibile stabilire con certezza l'edificio in cui era esposta, ma la presenza del vaso fa pensare ad una qualche struttura termale.

[59] ZANETTI 1766; MANDRUZZATO 1804, pp. 15-18; MANSUELLI 1958, pp. 45-128.
[60] TRAVERSARI 1958, pp. 74-75; BONOMI 1997, pp. 116-117; GHEDINI, BASSANI 2014, pp. 265-282.
[61] BONOMI 1997, pp. 116-117.

Le caratteristiche del materiale ed i limiti imposti dall'ambiente di conservazione hanno richiesto l'integrazione di più tecniche di rilievo, la cui procedura sarà ampiamente trattata nei capitoli 4 e 6. I risultati sono impiegabili non solo per la ricontestualizzazione, ma anche per sperimentare nuove soluzioni e sistemi nel campo della valorizzazione.



Figura 2.2. Statua maschile in marmo bianco, conservata presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia.

2.5.2 Cippi confinari

Lo studio paleografico dei 3 cippi confinari ha evidenziato il legame stilistico e l'importanza storico-culturale dei reperti, distinguendone le fasi di realizzazione.

L'iscrizione rupestre del Monte Venda riporta due testi con contenuto pressoché identico (fig. 2.3). L'iscrizione Venda A, posta nella parte superiore, è stata realizzata senza nessuna preparazione della pietra, con uno stile piuttosto irregolare, cercando di sfruttare gli spazi più idonei. Il testo è frammentario, poiché a causa di una scheggiatura si sono perduti il prenome e quasi tutto il nome del magistrato, integrati grazie all'iscrizione Venda B, posta sotto. Quest'ultima è stata incisa dopo

un'accurata preparazione della roccia e con maggiore regolarità, rispetto alla precedente, cercando di evitare le imperfezioni.

Venda A

[L. Caeicili]us Q. f. pro co(n)s(ule)
terminos finisque ex
senati consulto statui
iousit inter Atestinos
et Patavinos.

Venda B

L. Caeicilius Q. f. pr=
o co(n)s(ule)[[ex]] terminos
finisque ex senati
consulto statui iusit
inter Atestinos
Patavinosque[62].



Figura 2.3. Iscrizione rupestre del Monte Venda, conservata presso il Museo Nazionale Atestino.

I due testi sono identici e si ritrovano, seppur con delle varianti di carattere linguistico, anche nei cippi di Teolo e Galzignano Terme. Nel primo caso (fig. 2.4 a) si tratta di due blocchi trachitici iscritti e rinvenuti separatamente, ma probabilmente uniti in antico, come sembrano testimoniare gli incavi, presenti nella parte superiore del pezzo più grande (Teolo A), dove l'iscrizione è incisa in senso longitudinale, com'era consuetudine nella tradizione locale e con una tecnica paleografica molto simile a quella di Venda A. In Teolo B, lo stile d'incisione richiama l'iscrizione Venda B.

[62]Per i testi dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e dei cippi di Teolo e Galzignano, vd. BUONOPANE 1992, pp. 207-223.

Teolo A

L(ucius) Caicilius Q(uinti) f(ilius)
pro co(n)s(ule)
terminos
finisque ex
senati consolto
statui iusit inter
Patavinos
Et Atestinos.

Teolo B

[---]
senati [c]o[nsu]lto sta[tui]
iusit [---]

Il cippo di Galzignano (fig. 2.4 b) presenta un unico testo, disposto in senso longitudinale, com'era consuetudine in ambito veneto, ma lo stile epigrafico è più regolare e si avvicina maggiormente a Venda B e Teolo B.

Cippo di Galzignano

L. Caicilius Q. f. pro co(n)s(ule) terminos
finisque iuset statui ex senati
Consolto inter Patavinos Atestinosque.



Figura 2.4. Cippi confinari. a) cippo di Teolo, conservato in un deposito dei Musei Civici agli Eremitani, Comune di Padova; b) cippo di Galzignano, esposto al Museo Nazionale Atestino.

I cippi furono collocati dopo l'intervento del senato romano per sancire i confini tra atestini e patavini, in seguito ad una disputa nata per il possesso del territorio, attribuendo l'area termale euganea, ricca di risorse naturali, alla giurisdizione di Padova (fig. 2.5). Lucio Cecilio Metello Calvo, proconsole nel 141 a.C., è indicato come il magistrato romano che operò per conto del senato e rappresenta un importante riferimento cronologico.

L'evento si colloca nella fase di romanizzazione, che in Veneto ha inizio nel 181 a.C. con la fondazione di Aquileia; le iscrizioni evidenziano la forte influenza del senato romano, chiamato a definire i confini tra le popolazioni locali, usando la lingua latina per esprimere la delibera, in un'area in cui si parlava e si scriveva ancora in venetico[63].



Figura 2.5. Confine tra i territori di Este e Padova, individuato grazie ai 3 cippi.

È probabile che la disputa fosse legata allo sfruttamento delle risorse naturali, presenti nell'area euganea, dove oltre all'acqua termale, usata per fini cultuali e curativi, vi erano vie fluviali e terrestri, legname di buona qualità, cave di pietra trachitica, impiegata in ambito edilizio ed infrastrutturale ed esportata anche al di fuori dell'area veneta[64].

Le diverse tecniche d'incisione hanno distinto 2 momenti di realizzazione, ad opera di maestranze differenti. È possibile che alla delibera del senato del 141 a.C. corrisponda la stesura dei testi Venda

[63] Per approfondimenti sulla lingua venetica vd. MARINETTI 2013, pp. 79-91.
[64] BOSIO 1992, pp. 173-204; BASSO*et al.* 2014, pp. 65-84.

A e Teolo A, che sono in latino, ma presentano un carattere irregolare, attribuibile a lapicidi locali. Le iscrizioni Venda B, Teolo B e quella sul cippo di Galzignano, presentano una tecnica più regolare, forse ad opera di maestranze esterne e costituiscono una riscrittura, collocata entro gli inizi del I sec. a.C., periodo in cui le comunità venete, dopo gli eventi legati alle invasioni cimbriche, tornano a confrontarsi per ragioni di confine, restaurando i monumenti che definivano le disposizioni confinarie indicate dal senato romano.

Il lavoro sui cippi è presentato nei capitoli 4 e 6 e consente di ricontestualizzarli e valorizzarli in un sistema e contesto unici, in cui integrare tutte le informazioni storico-archeologiche presentate, col fine di trasmetterne il valore semantico e l'importanza culturale, difficile da apprezzare con la semplice osservazione in museo.

2.5.3 Il territorio e le sorgenti termali euganee

Come già visto, l'area termale euganea, per la sua conformazione geomorfologica, era in origine caratterizzata da profonde depressioni e da aree paludose, rendendo difficile il drenaggio delle acque superficiali. La situazione rimase tale anche in età protostorica, romana e medioevale, quando ebbero inizio lo sfruttamento delle risorse naturali ed i primi interventi di bonifica, che gradualmente trasformarono il territorio. L'opera più importante riguarda l'escavazione del canale Battaglia, tra il 1189 e il 1201, che oltre ad unire Padova a Monselice, attraverso altre diramazioni, collegava la laguna veneta con l'entroterra o ai Colli Euganei, mediante vie d'acqua minori, permettendo il trasporto della trachite e di altro materiale lapideo, estratto dalle cave. La grande rete di canali che si venne a costituire determinò la quasi totale scomparsa delle aree paludose e gli ultimi residui, oggi rimasti nel territorio, sono i laghi di Lispida e della Costa, nei pressi di Arquà Petrarca[65]. Montegrotto Terme e Abano Terme beneficiano di un proprio reticolo di drenaggio artificiale, costituito dagli scoli Rialto, Poggese, Canaletta e Rio Spinoso, oltre ad altri minori, per il deflusso dalle aree sorgentifere. In questo modo, è possibile evitare i ristagni d'acqua, legati non solo alle precipitazioni, ma anche all'affioramento della falda termale[66].

Le indagini archeobotaniche[67], limitate alla sola area di via Neroniana, hanno restituito un'immagine evolutiva dell'ambiente originario; infatti, grazie all'analisi tipologica dei resti vegetali individuati, è emerso come un'estesa depressione a carattere termale dovesse interessare tutta l'area durante l'ultima glaciazione (circa 20.000 anni fa), mentre l'impaludamento deve aver cominciato ad attenuarsi solo in seguito ai miglioramenti climatici (18.000-17.500 anni fa). Nell'età

[65]Si ricorda la fonte Raineriana in località Costa, oggi abbandonata. Il sacello termale fu realizzato su progetto di Jappelli nel 1827, per desiderio del duca Ranieri, ospite presso lo stabilimento di Sant'Elena. PIVA 1989, pp. 127-142.

[66]Per approfondimenti sul canale Battaglia e su come ha modificato l'idrografia nel territorio, vd. GRANDIS 2003, pp.267-298.

[67]MIOLA*et al.* 2011, pp. 65-88.

del Rame, vi sono tracce di deforestazione e di alluvioni; diversamente il periodo, compreso tra l'Età del Bronzo Recente e la fondazione della villa (XVI sec. a.C. - I sec. d.C.), ha restituito indicatori di colture, quali cereali e vigneti. Tra le altre specie di piante, si ricordano la quercia, il nocciolo, l'olmo, il faggio, il carpino bianco e alberi da frutto, quali castagno, noce e ulivo, attestati anche nella documentazione settecentesca e ottocentesca.

Il fenomeno del termalismo[68] si verifica in seguito alla risalita delle acque meteoriche, che s'infiltrano nel terreno in prossimità delle Piccole Dolomiti, a 80-100 km a nord dei Colli Euganei. Le acque arrivano ad una profondità di circa 3 km e si riscaldano per effetto del gradiente geotermico. Le dinamiche insediativesi legarono all'utilizzo di queste risorse, già dal periodo protostorico e romano e sono state analizzate nel progetto *Aquae Patavinae*; la ricerca viene adesso ampliata, estendendo i limiti territoriali e cronologici e ponendo attenzione alle trasformazioni degli elementi paesaggistici ed a possibili rapporti con le strutture antiche.

Nel corso del Medioevo, nonostante l'avvento del cristianesimo che considerava pagane le pratiche legate alle attività ludiche-termali, il termalismo continuò ad essere praticato facendone emergere il carattere terapeutico, assistenziale e sfruttando nuove aree sorgentifere. Tra queste, il Monte della *Stuva*, così definito in un documento del 1156, che attesta una donazione del vescovo di Padova a vantaggio della chiesa di S. Eliseo[69], collocata sul monte, oggi identificato col Colle di Sant'Elena a Battaglia Terme[70] (fig. 2.6). I bagni erano rinomati per la presenza di una grotta, dove si sudava, grazie al calore dell'acqua termale. Sul finire del XVI sec., sulla sommità della collinetta fu costruita villa Selvatico, cui seguirono tra il XVIII e il XIX sec., lavori di ammodernamento del parco e degli stabilimenti termali, con la realizzazione di nuove strutture, di notevole fama[71].

[68] Cfr. nota 21.

[69] Protettore dei luoghi di culto legati ai bagni curativi,cfr. Tesi di Dottorato di Ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici di E. FASSON, indirizzo in Scienze Archeologiche,*Il contributo della cartografia di epoca veneziana e di XIX secolo alla ricostruzione del paesaggio antico di Montegrotto Terme e del bacino termale euganeo,* ciclo XXVI, 2014, supervisori P. Zanovello, E. F. Ghedini.

[70]BORTOLAMI 2007, pp. 153-175. Un'altra chiesa dedicata a S. Eliseo, è attestata presso i bagni di Montegrotto (area di via Neroniana), vd. MANDRUZZATO 1804, pp. 28-29.

[71]MANDRUZZATO 1804, pp. 1-14; PIVA 1985; MAZZI 1997, pp. 150-167.

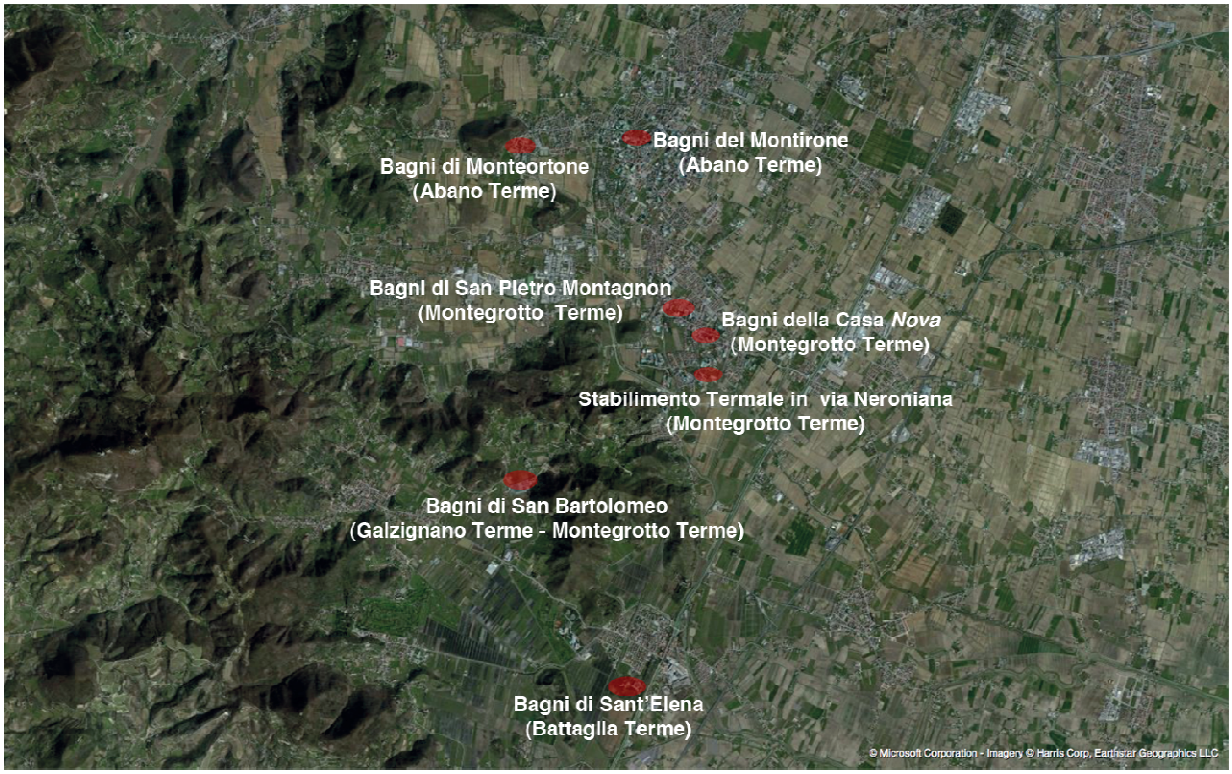


Figura 2.6. Principali sorgenti euganee, utilizzate e celebrate nelle fonti, dal Medioevo fino all'età moderna.

Nel XII sec. il Comune di Padova interviene con l'escavazione del canale Battaglia e l'acquisizione di alcuni territori termali, per sfruttarli economicamente. Nello stesso periodo iniziano a delinearsi i nuclei termali, che caratterizzarono con vivacità i secoli successivi. Oltre alle terme di Battaglia, si contano una pluralità di sorgenti a Montegrotto Terme, dove acquistano importanza l'area di San Pietro Montagnon, del Colle Bortolone, con i bagni della Casa *Nova,* e lo stabilimento in via Neroniana (fig. 2.6). A documentare l'attività, vi è uno statuto del 1236, emanato dal Comune di Padova, che regolamentava il trasporto degli ospiti fino a Montegrotto e fissava un tetto massimo alle tariffe degli stabilimenti; inoltre, imponeva la pulizia periodica, la manutenzione degli impianti termali, il divieto alle persone malate d'immergersi nelle acque, di abbeverare gli animali e di lavare i panni. Un'altra fonte è Iacopo Dondi dall'Orologio che, nel 1356, scrive di avere acquistato dei terreni paludosi a Montegrotto, da cui scaturivano acque calde e di avervi fatto costruire un piccolo stabilimento per l'estrazione del sale; la pratica durò poco a causa dei limitatiguadagni. Le strutture furono, però, conservate anche dopo la cessazione delle attività, mantenendo il nome di Casa *Nova*.

Nel 1186, vi è l'attestazione di un piccolo villaggio, attorno alle sorgenti del Montirone ad Abano Terme, dove nel 1304 si registra la presenza di una chiesa-ospedale, dedicata a S. Maria (fig. 2.6). L'area comincia ad acquisire una discreta importanza già tra il XV e il XVI sec., come

documentano le iconografie, che presentano scene di vita quotidiana, legate alle pratiche termali. Gli stabilimenti diventano sempre più numerosi e sono alimentati dalle sorgenti fumanti, che sgorgano naturalmente dalle pendici del colle, come attestato nelle foto d'inizio '900; inoltre, vi sono osterie ed ambienti con vasche per l'immersione. Tra il XVIII e il XIX sec., i bagni del Montirone sono i più importanti di tutto il comprensorio euganeo[72].

L'area di Monteortone, dopo l'insediamento attestato nella prima età imperiale romana, è soggetta a sporadiche frequentazioni medioevali legate all'attività agricola ed è interessata da nuovi processi occupazionali solo nel XV sec., in seguito ad un evento miracoloso, cui seguì la fondazione di un santuario mariano, costituito da chiesa e monastero (fig. 2.6).

Infine, i bagni di S. Bartolomeo, oggi posti tra i comuni di Montegrotto e Galzignano Terme (fig. 2.6), costituiti da una chiesa, con annesso un *ospitale,* sorgenti di acqua calda e una gran piscina con fondo fangoso, affermano la loro importanza nel corso del XIV sec. pur essendo terme molto povere, destinate all'uso dei contadini[73].

Già dal periodo Medioevale, le risorse termali erano usate non solo per scopi curativi, ma anche per diletto ed erano frequentate dai benestanti di Padova; in seguito si affiancò anche un turismo esterno. Si è già accennato come lo sviluppo degli stabilimenti, seguito da un intenso sfruttamento delle risorse, incise con pesanti trasformazioni nel territorio, legate soprattutto alla scomparsa delle sorgenti naturali, restituendo un'immagine ben diversa da quella degli inizi del 1900 e dei secoli precedenti. Lo studio condotto sulle aree sorgentifere evidenzierà questi aspetti, focalizzando l'attenzione su Montegrotto Terme e su Monteortone, non ancora indagato. In entrambi i casi, i risultati saranno utilizzati per elaborare e presentare delle ipotesi di ricostruzione virtuale, per il periodo compreso tra la metà del 1700 e gli inizi del 1800, valorizzando il territorio, le fonti storiche ed i singoli contesti.

[72] MANDRUZZATO 1789; VERDI 1997, pp. 167-178; GHEDINA 1997.

[73] Si conserva la chiesa adibita ad abitazione(comune di Montegrotto); nel lato opposto della strada (comune di Galzignano) vi è ancora qualche piccolo ruscello di acqua calda. MANDRUZZATO 1804, p. 95-99; MIGLIOLARO 1956, p. 136.

CAPITOLO 3

Tecniche di rilievo 3D e sistemi per la gestione e la valorizzazione

Negli ultimi anni, il notevole progresso tecnologico ha portato ad una maggiore diffusione e applicazione delle tecniche geomatiche nel campo dei Beni Culturali, semplificando le metodologie procedurali e mantenendo accurata e precisa la restituzione dei dati. Si usano soprattutto tecniche di rilievo 3D, definite *reality-based* e distinte tra passive, ovvero basate sull'acquisizione ed elaborazione d'immagini, e attive, che impiegano strumentazione *laser*, restituendo direttamente una mappa 3D della superficie (*dense range maps*). I risultati sono usati per lo studio, l'interpretazione e la documentazione dei dati, gestiti in *database* 3D, che consentono di visualizzarli, di creare relazioni e d'interrogare il sistema, richiamando contenuti e topologie.

La digitalizzazione dei Beni Culturali è importante per la valorizzazione, che oggi richiede nuovi sistemi di comunicazione, basati soprattutto sull'uso di contenuti multimediali (immagini, video, modelli 3D, ecc.), per allinearsi con le nuove forme di comunicazione sociale, fortemente influenzate e mutate a seguito della diffusione delle tecnologie.

Si usano nuove interfacce grafiche e ambienti immersivi, dove l'utente interagisce in prima persona creando una personale esperienza di apprendimento con sistemi definiti *serious games*, che intrattengono il pubblico e trasmettono contenuti educativi (*edutainment*), come il valore semantico del bene culturale.

La realtà virtuale è uno degli strumenti che favorisce la presentazione al pubblico con sistemi interattivi, che usano i tradizionali dispositivi o interfacce d'interazione naturale, per avvalorare l'esperienza dell'utente. Infine, con la realtà aumentata, i contenuti virtuali sono sovrapposti alla scena reale, per aggiungere informazioni all'ambiente e all'oggetto d'interesse.

La ricerca si è focalizzata soprattutto sulle nuove forme di comunicazione museale, che richiedono la presentazione di contenuti multimediali, favorendo l'inserimento di tecnologie per valorizzare la tematica espositiva, i singoli oggetti ed il loro significato culturale.

3.1 Tecniche *reality-based*

L'approccio *reality-based* ha l'obiettivo di registrare con la massima accuratezza il dettaglio geometrico e radiometrico della scena o dell'oggetto reale[1], impiegando tecniche *image-based* e *range-based* che restituiscono un modello 3D poligonale. Ciò può essere realizzato con l'elaborazione d'immagini 2D, *range maps* 3D, disegni e mappe *Computer-Aided Design* (CAD). Oggi si possono ottenere modelli multi-risoluzione, con più *Levels Of Detail* (LOD), che integrano informazioni radiometriche, tramite procedure di *texture mapping,* ottenendo una struttura complessa, con dati semantici e qualitativi. Le tecniche trovano ampia applicazione nel campo dei Beni Culturali, dove sono richieste restituzioniogettive, definendone il dettaglio geometrico, al fine di documentare il bene, indagarne la superficie, la forma, il colore, lo stato di conservazione e programmare interventi di tutela o restauro. È possibile operare confronti con altri oggetti, visualizzare il reperto da più punti di vista e, modificando le condizioni d'illuminazione, curare esposizioni in ambienti di *virtual reality*, in cui inserire elementi legati al contesto storico, culturale e artistico, aggiungendo testi, immagini o altri contenuti.

Le scelte metodologiche sono legate alle finalità del rilievo, ovvero se i dati saranno usati per la sola visualizzazione al grande pubblico o per analisi svolte da specialisti, indirizzando verso tecniche e sensori che restituiscono la risoluzione e l'accuratezza richieste. Altri fattori decisivi sono le dimensioni dell'oggetto, le proprietà del materiale, lo stato di conservazione, le caratteristiche della superficie e del contesto ambientale.

Nel caso di un approccio *non-real*, si usano *software* per l'elaborazione di modelli procedurali o di grafica 3D (es. Blender, 3D Studio Max)[2], senza impiegare dati acquisiti dalla scena reale. In questo caso, il modello poligonale ha una geometria più semplice e facilmente gestibile, ma non può essere usato per analisi di dettaglio sulla superficie e trova, invece, largo impiego nella ricostruzione filologica di elementi o strutture non conservate.

Nel campo dei beni culturali s'impiegano tecniche *reality-based* non a contatto, distinte tra l'uso di sensori ottici passivi eattivi (fig. 3.1).

[1] Il riferimento è all'acquisizionedella superficie esterna del soggetto, ma si ricordano anche tecniche, come la Tomografia Assiale Computerizzata (TAC), che utilizzano radiazioni inonizzanti (raggi-X), in grado di penetrare all'interno di alcuni materiali, rivelandone la struttura del volume interno. Cfr. GUIDI *et al*. 2010, p. 9-10.

[2]https://www.blender.org; http://www.autodesk.it/products/3ds-max/overview.

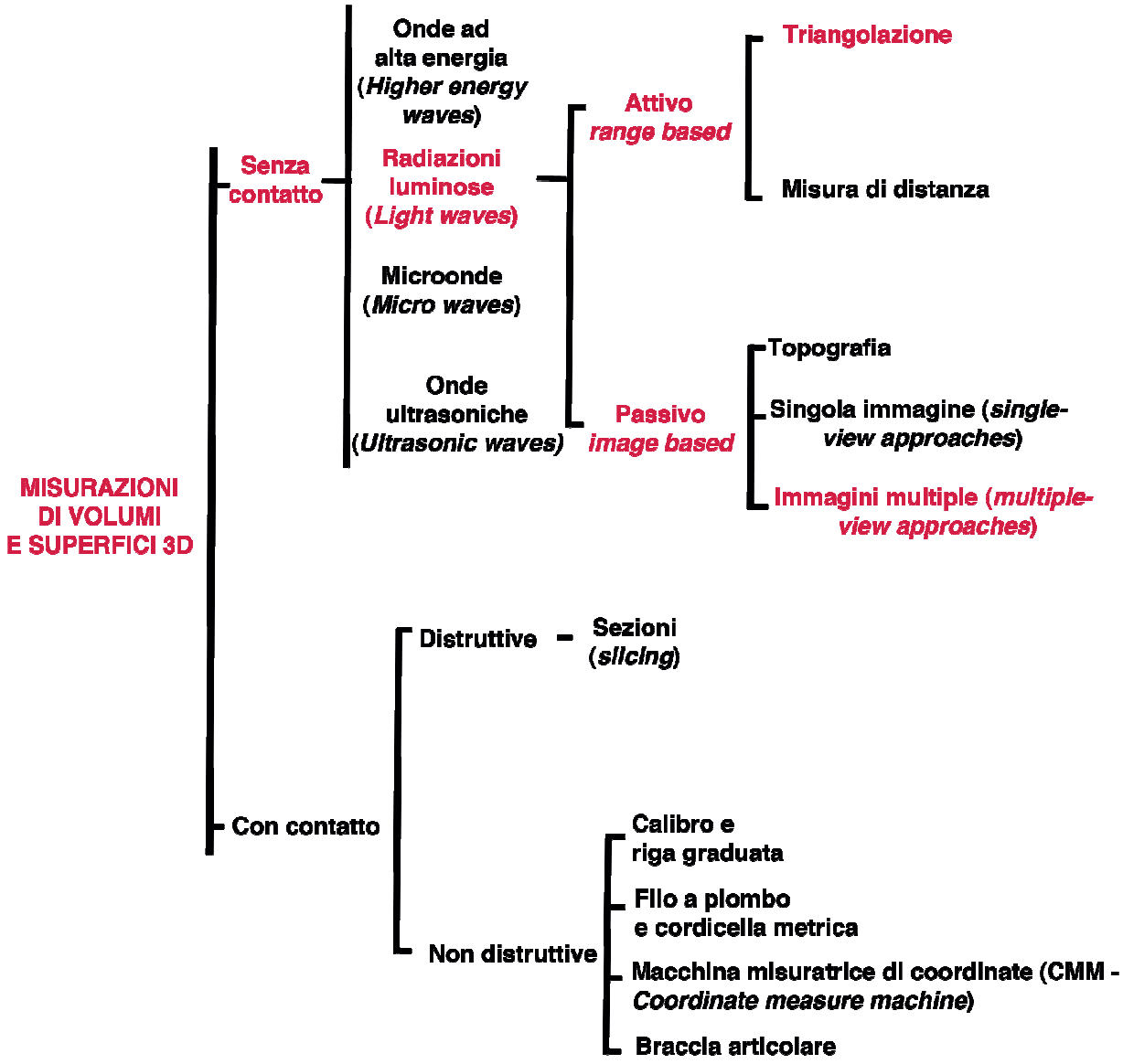


*Figura 3.1. Lo schema, adattato dalla bibliografia (*Russo et al. *2011, pp. 169-198), presenta la distinzione tra i principali sistemi per il rilievo 3D, evidenziando le tecniche applicate.*

3.2 Tecniche 3D passive

Nel caso di tecniche basate su sensori passivi, la scena o l'oggetto reale sono rilevati mediante l'illuminazione naturale e l'impiego di un sistema ottico, che acquisisce immagini 2D da cuiè possibile ricavare informazioni geometriche 3D. Esempi ne sono la fotogrammetria e la *Computer Vision* (CV), dove si usa una camera fotografica e le misure sono ricavate individuando i punti comuni tra un minimo di 2 immagini, acquisite sulla stessa scena o superficie, da angolazioni diverse. Si tratta di un approccio multi-immagine (*multiple-view approach)*, che si differenzia dall'analisi di un'unica immagine (*single-view approach)*, dove la geometria dell'oggetto è determinata mediante elementi di contrasto, come l'ombra, le *texture* ed il *focus*. Fotogrammetria e CV, pur basandosi sui medesimi principi, sono ancora tecniche distinte, dove la prima privilegia l'accuratezza del dato geometrico, mentre la seconda ha come obiettivo l'automatizzazione dei processi[3].

3.2.1 Fotogrammetria

La fotogrammetria è una tecnica *image-based* con una lunga tradizione storica[4] il cui obiettivo è ricavare misure metriche e accurate della superficie e informazioni semantiche da immagini, acquisite con sensori terrestri e aerei.

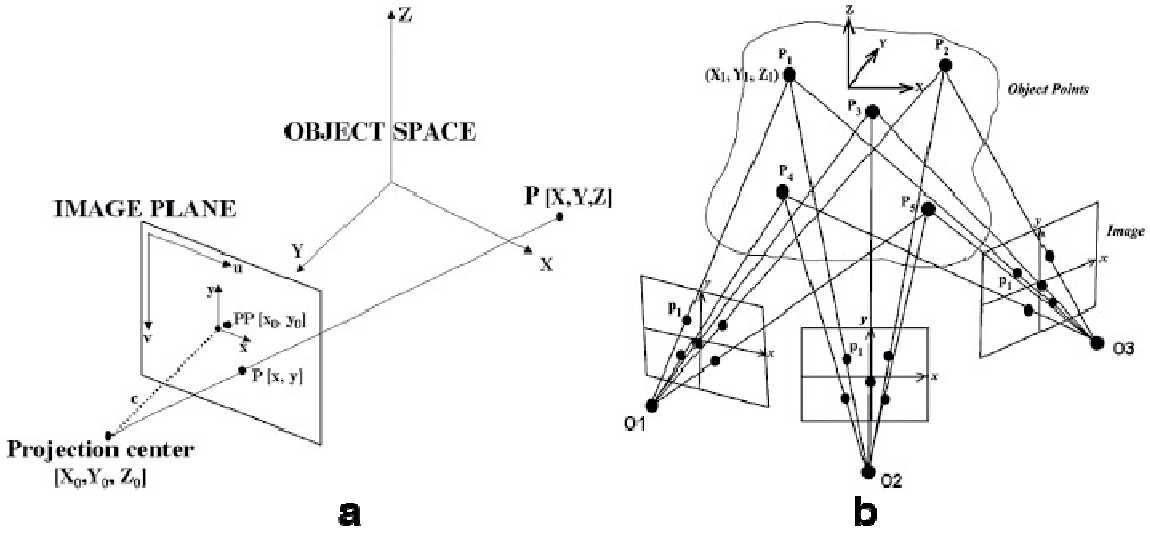


*Figura 3.2. Principio di collinearità, singola e multiple immagini (*REMONDINO *2014, pp. 63-72). a) Il principio di collinearità pone il centro di proiezione o punto di presa (X_0, Y_0, Z_0), il punto P sull'immagine (x,y) e il corrispondente punto P sull'oggetto (X, Y, Z) sulla stessa retta; b) il principio della triangolazione fotogrammetrica o* bundle adjustment*, con più immagini convergenti, stabilisce che le coordinate 3D dei punti P sulle immagini sono determinate intersecando i raggi omologhi provenienti dalle varie immagini.*

[3]HARTLEY, MUNDY 1993, pp. 92-105; REMONDINO, EL-HAKIM 2006, pp. 269-291; GRANSHAW, FRASER 2015, pp. 3-7.
[4]LUHMANN*et al.* 2006, pp. 15-24.

Il processo di elaborazione si basa sul principio della collinearità, determinando la relazione tra almeno 2 immagini convergenti (*multi-view approach*) e le coordinate spaziali dell'oggetto, attraverso una linea retta[5] che passa per il centro di presa della camera (X_0, Y_0, Z_0), il punto P (x, y) sull'immagine ed il corrispondente punto P (X, Y, Z) sulla superficie dell'oggetto (fig. 3.2). Le coordinate di P sull'oggetto sono trasformate e scalate per ottenere il corrispondente di P sull'immagine, tramite le equazioni di collinearità[6]:

$$x = -c\frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x$$

$$y = -c\frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y \qquad (3.1)$$

La trasformazione si calcola in funzione dei parametri di orientamento interno, indicati con c(lunghezza focale) e Δx e Δy (parametri addizionali, relativi alle distorsioni delle lenti o delle immagini) e di orientamento esterno, indicati con X_0, Y_0, Z_0 (coordinate del centro di presa o obiettivo della camera) e r_{11}, r_{12}, …r_{33} (elementi presenti nella matrice di rotazione ortogonale R, corrispondenti alle rotazioni ω, φ, κ rispettivamente attorno agli assi X, Y, Z).

Tutte le misure ricavate da immagini digitali hanno coordinate x, y riferite ad un sistema basato su *picture element* (*pixel*), mentre le equazioni di collinearità si riferiscono a coordinate metriche.

È possibile convertire i *pixel*, attraverso una trasformazione affine, conoscendo le dimensioni del sensore della fotocamera digitale e del *pixel*[7].

Nella fotogrammetria dei vicini*(close-range photogrammetry)* vengono generalmente eseguite molte acquisizioni e la procedura d'intersezione spaziale consiste nel calcolare per ciascun *tie point* (punto omologo), misurato in almeno 2 immagini, un'equazione di collinearità. L'insieme delle equazioni determina un sistema, risolto con il metodo iterativo dei minimi quadrati (*Least Square Method* – LSM). Da questo si ricava la procedura *bundle adjustment*, che restituisce simultaneamente le incognite, definendo l'orientamento esterno di ciascun'immagine (fig. 3.2 b). Con il metodo *self-calibrating bundle adjustment* s'individuano i parametri addizionali (*Additional Parameters –APs*), come l'orientamento interno ed il coefficiente di distorsione[8]. Le osservazioni fotogrammetriche determinano la forma, mentre per l'orientamento e la posizione nello spazio è

[5] La linea è diritta solo a livello teorico: spesso si tratta di una curva, dovuta alla calibrazione dell'ottica della camera.
[6] LUHMANN*et al.* 2006, pp. 202-206; REMONDINO 2014, pp. 63-72.
[7] http://www.dpreview.com.
[8] Per LSM, vd. Gauss-Markov *linear model*; *bundle adjustment* e *self-calibrating bundle adjustment*, cfr. LUHMANN*et al.* 2006, pp. 55-59; 229-235; 242-244.

necessario il *datum*, che fissa le coordinate tridimensionali globali dell'oggetto all'interno del sistema, ponendo 3 vincoli di traslazione, 3 di rotazione e 1 fattore di scala, attraverso un minimo di 3 punti di controllo al suolo (*Ground Control Point*– GCP). Il sistema può essere risolto senza vincoli esterni, aggiungendo almeno una distanza nota tra 2 punti sulla superficie, al fine di definire le dimensioni di scala. È fondamentale svolgere i calcoli prima dell'elaborazione del modello e attraverso il metodo *bundle adjustment*, per compensare eventuali blocchi di deformazione[9].

Considerando quanto esposto e definendo con B la *baseline*tra 2 immagini e D la distanza media tra la fotocamera e l'oggetto, il rapporto B/D (*base-to-depth*) tra le immagini, dovrebbe garantire una forte configurazionegeometrica, meno condizionata da rumore ed errori di misura. Nel campo della fotogrammetria terrestre è quasi impossibile fissare dei valori applicabili in tutte le situazioni. Generalmente, più larga è la *baseline*, migliore sarà l'accuratezza delle coordinate calcolate per l'oggetto, ma vi saranno problemi nell'individuazione delle corrispondenze tra le immagini, a causa degli effetti di prospettiva.

Nella prima fase del processo di elaborazione si eseguono la calibrazione geometrica e radiometrica del sensore o parametri interni e l'orientamento dell'immagine o parametri esterni[10]. I processi si differenziano in base alle caratteristiche della fotocamera, oltre a richiedere immagini diverse e procedure di calcoloseparate. La calibrazione geometrica definisce le coordinate spaziali del centro di presa, la lunghezza focale, la distanza principale (misurata tra la superficie dell'oggetto e quella in cui si forma l'immagine), la posizione del punto principale e alcuni parametri aggiuntivi, usati per modellare eventuali errori sistematici, causati dalla distorsione della lente.

Per la calibrazione radiometrica, si devono considerare il rumore termico (*dark current*), la vignettatura e l'efficienza quantica del sensore. Infine, per i parametri esterni di coppie d'immagini stereoscopiche[11], determinati dalla posizione del punto di presa e l'orientamento dell'angolo di ciascuna immagine, è necessario individuare almeno 5 punti omologhi, omogeneamente distribuiti nell'intero spazio-immagine, non complanari e non collineari. Da queste osservazioni si ricava un sistema di equazioni di collinearità, risolvibile con il metodo dei minimi quadrati, che definisce i parametri di orientamento esterno e le coordinate di misura 3D dei punti.

Si scelgono misurazioni manuali o semi-automatiche quando con pochi punti è possibile delineare la geometria 3D di base e la discontinuità nella superficie di un oggetto, come nel caso di edifici o semplici architetture, dove gli spigoli definiscono le forme principali. Con procedure automatiche di

[9] Cfr. § 4.1.5.

[10] LUHMANN*et al*. 2006. Parametri di orientamento interno, pp.114-129, 155-157, 111, 147; per approfondimenti su fotocamera metrica, semi-metrica e non metrica, pp. 140-146; parametri di orientamento esterno, pp. 206-229.

[11] La geometria epipolare determina le relazioni geometriche tra 2 immagini.

correlazione o *image-matching,* si restituiscono dettagliati *Digital Surface Model*(DSM) di soggetti complessi e irregolari.

Il numero e la densità di punti 3D restituiti determinano nuvole di punti sparse (non strutturate) e dense (strutturate) (figg. 3.3 a, b). Il risultato è un modello poligonale, costituito da *mesh* (superficie definita da una maglia regolare di poligoni, più frequentemente triangoli, che ne determinano la geometria), ed elaborato con più procedure. Tra queste, il processo Delaunay, scelto nel caso di nuvole non strutturate, che proietta punti 3D in un piano o in altre superfici primitive, ricercando tra loro connessioni e generando una configurazione di potenziali triangoli a distanza minima, poi proiettati nello spazio 3D e verificati topologicamente.

Tra i principali obiettivi della fotogrammetria, vi è la restituzione di un modello realistico *texturizzato*, fruibile con più modalità di visualizzazione, dove sono modificabili i parametri d'illuminazione per evidenziarne i dettagli.

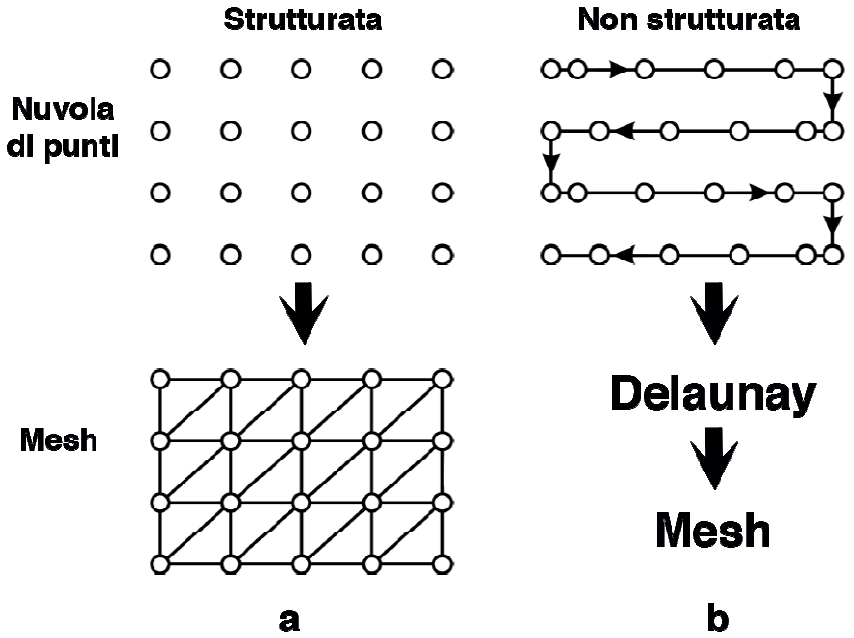


Figura 3.3. Nuvole di punti (GUIDI et al. 2010): a) strutturata, ovvero costituita da punti con coordinate 3D logicamente distribuiti, da cui è possibile ricavare una matrice e procedere direttamente all'elaborazione della mesh*; b) non strutturata, con punti distribuiti nello spazio in modo non organizzato, da cui è più difficile ricavare una matrice e per elaborare la* mesh *è necessario ricorrere a processi intermedi, come l'algoritmo di Delaunay.*

3.2.2 Computer Vision

La CV è una tecnica passiva, afferente al campo della *computer science* e si fonda sugli stessi principi geometrici della fotogrammetria, cercando di automatizzarne i processi di elaborazione, come l'orientamento delle immagini e la restituzione 3D. L'obiettivo è ottenere un modello realistico, dove talvolta non è prioritaria l'accuratezza di tipo fotogrammetrico, geometricamente accurato e in parte elaborato con procedure automatizzate.

La metodologia della CV ripercorre le procedure viste per la fotogrammetria e anticipa, su base teorica, il lavoro trattato nel capitolo 4. Si procede con l'allineamento di una sequenza d'immagini multiple e convergenti, ricavabile con più algoritmi, tra cui *Structure from Motion* (SFM)[12], che restituisce i parametri di orientamento esterno e interno della fotocamera, definendone i punti di presa (*camera motion*) e la struttura geometrica della scena tridimensionale, da una sequenza d'immagini, acquisite in punti ravvicinati, con una fotocamera non metrica, che si muove attorno ad un oggetto e senza l'uso di *target* codificati.

Il sistema estrae automaticamente elementi d'interesse, come le geometrie comuni (es. linee, angoli), usando algoritmi, che cercano le corrispondenze tra i punti delle immagini, considerando tutti i *pixel* dell'intera area (*area-based*) o gli elementi (*feature-based*). Sono poi individuati i punti comuni, attraverso un confronto e un'analisi esaustiva di tutte le possibili combinazioni, utilizzando estimatori robusti per minimizzare l'eventuale rumore. Ricavate le corrispondenze tra le immagini in sequenza, per avere le coordinate 3D, è necessario applicare il metodo *bundle adjustment* (fig. 3.2), seguendo le stesse procedure descritte per la fotogrammetria, al fine di definire i parametri incogniti. Al termine del processo, il sistema restituisce le coordinate spaziali dei punti, organizzati in modo irregolare in una nuvola di punti sparsa o non strutturata (fig. 3.3 b).

La seconda fase porta a maggiori dettagli geometrici nella scena e ad una nuvola di punti strutturata o densa (fig. 3.3 a), con risoluzione paragonabile ai sensori attivi, da cui si ricava il modello poligonale. Si segue la procedura *dense multi-view stereo matching,* eseguibile con più algoritmi, che confrontano i valori dei *pixel* tra le immagini (*similarity* o *photo-consistency measures*), integrando misure di correlazione e misure di consistenza, modelli di visibilità, conoscenza della forma e altro. I dati si determinano nello spazio dell'immagine e dell'oggetto, definendo la posizione dei punti di presa (*dense multi-view*), attraverso la consistenza radiometrica ed i vincoli geometrici. A ciascun *pixel* sono associati più valori di profondità e, tramite un processo di ottimizzazione, si ottengono un'unica mappa di profondità (*depth map*) ed una nuvola densa e strutturata multi-risoluzione. L'accuratezza del risultato non è legato solo alla densità dei punti 3D,

[12] REMONDINO*et al.* 2012, pp. 40-54.

ma anche all'affidabilità del dato, entrambi relazionati alla qualità dell'orientamento interno ed esterno delle immagini e della geometria di presa del blocco fotogrammetrico[13].

Sono disponibili molti *software*, che applicano le procedure descritte, automatizzandone completamente i processi (*black box*), come nel caso delle applicazioni *web service,* o parzialmente, richiedendo l'intervento dell'utente, per la corretta impostazione dei parametri e restituendo nuvole dense di punti 3D, con un elevato dettaglio geometrico. In ambito commerciale, si ricordano Agisoft PhotoScan[14], CLORAMA (*CLOse RAnge MAtching*), 3DF Zephyr Pro, per gli *open source* SURE, Apero/MicMac, PMVS, VisualSFM, Bundler, Insight3D, e per i *web service,* ARC3D, Photosynth (Microsoft) e Autodesk Service (Project PhotoFly e 123D Catch)[15].

[13] REMONDINO*et al.* 2014, pp. 144-166.
[14] Cfr. capitolo 4.
[15] http://www.4dixplorer.com/software_clorama.html; http://www.3dflow.net/it/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/; http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/software/sure/index.en.html; www.micmac.ign.fr; http://www.di.ens.fr/pmvs; http://ccwu.me/vsfm; http://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler; http://insight3d.sourceforge.net; http://www.arc3d.be; https://www.photosynth.net; http://www.123dapp.com/catch.

3.3 Sensori 3D attivi

Le tecniche basate su sensori attivi acquisiscono la geometria 3D di una superficie, tramite la generazione di un raggio *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(LASER)* e la restituiscono direttamente, attraverso rappresentazioni digitali tridimensionali, come *dense range maps*, dove ad ogni punto sono associate coordinate spaziali. Si tratta di tecnologie che si fondano su diversi principi di misura, legati alla scala d'indagine e alla risoluzione. I più diffusi sono i *laser scannerTime of Flight* (TOF), i sensori a differenza di fase, a triangolazione ottica ed i sistemi *structured light projectors,* dove all'emettitore *laser* si sostituisce un proiettore, che trasmette bande luminose codificate. Generalmente il dato radiometrico non è registrato; infatti, solo alcuni sensori integrano fotocamere, che acquisiscono simultaneamente dati geometrici e *texture*.

3.3.1 Sistemi basati sul principio della triangolazione

I sistemi ottici attivi più diffusi nel campo dei Beni Culturali operano tramite un emettitore di luce *laser*, opportunamente codificata, ovvero costituita da contenuto informativo riconoscibile dal sensore, che la registra, acquisendo la geometria 3D di superfici complesse, calcolando per ciascun punto le coordinate spaziali (*x, y, z*) ed il colore, se lo strumento integra una fotocamera. Il dato "grezzo" tridimensionale è restituito immediatamente e si adottano sistemi diversi in base alle dimensioni del sensore ed alla distanza strumento-oggetto (*range-based*). Per volumi di misura molto piccoli, indicativamente inferiori ad 1 m^3, si usano sistemi basati sul principio della triangolazione, mentre per volumi superiori si scelgono sensori a tempo di volo o *Time of Flight*.

La luce *laser*, per le sue proprietà fisiche, permette di generare *spot* luminosi focalizzati su intervalli di distanza elevati ed è costituita da un fascio monocromatico (unica lunghezza d'onda) e coerente (fotoni generati in diversi istanti). La monocromaticità rende più efficienti le ottiche, concentrando più energia per unità di superficie, la coerenza distribuisce l'energia con maggiore intensità per unità di tempo.

Negli strumenti, basati sul principio della triangolazione, la sorgente *laser* genera un fascio sottile di luce, proiettando un punto luminoso sulla superficie, riflesso in base alle sue proprietà diffusive, per poi essere acquisito da un sensore ricevente e ottenere l'immagine contenuta nello *spot*.

Nello schema geometrico (fig. 3.4 a) l'emettitore, il centro di proiezione sul sensore ed il punto luminoso riflesso dalla superficie costituiscono un triangolo, dove la base (*baseline - b*) è determinata dalla distanza tra la sorgente e il ricevitore. L'immagine del punto luminoso è focalizzata sul piano di ripresa del sensore che si trova ad una distanza *f* dal foro di entrata della luce (distanza focale o principale). Si crea così una traccia luminosa, posta in un asse diverso

rispetto al centro ottico del sistema, con una distanza *p*(fig. 3.4 a). Se lo strumento è preventivamente calibrato, si conoscono a priori l'inclinazione *α* della sorgente luminosa e la base *b*. Tramite la posizione dello *spot* sul piano del sensore, si determina la distanza *p*, con la quale si ricava l'angolo *β*. Noti i 3 parametri *b*, α, *β* si crea un triangolo, da cui ricavare le altre misure, tra cui la distanza z_A, tra il sensore ed il punto sull'oggetto (fig. 3.4 b), che è il dato più critico, da cui deriva il nome dello strumento (*range devices*).

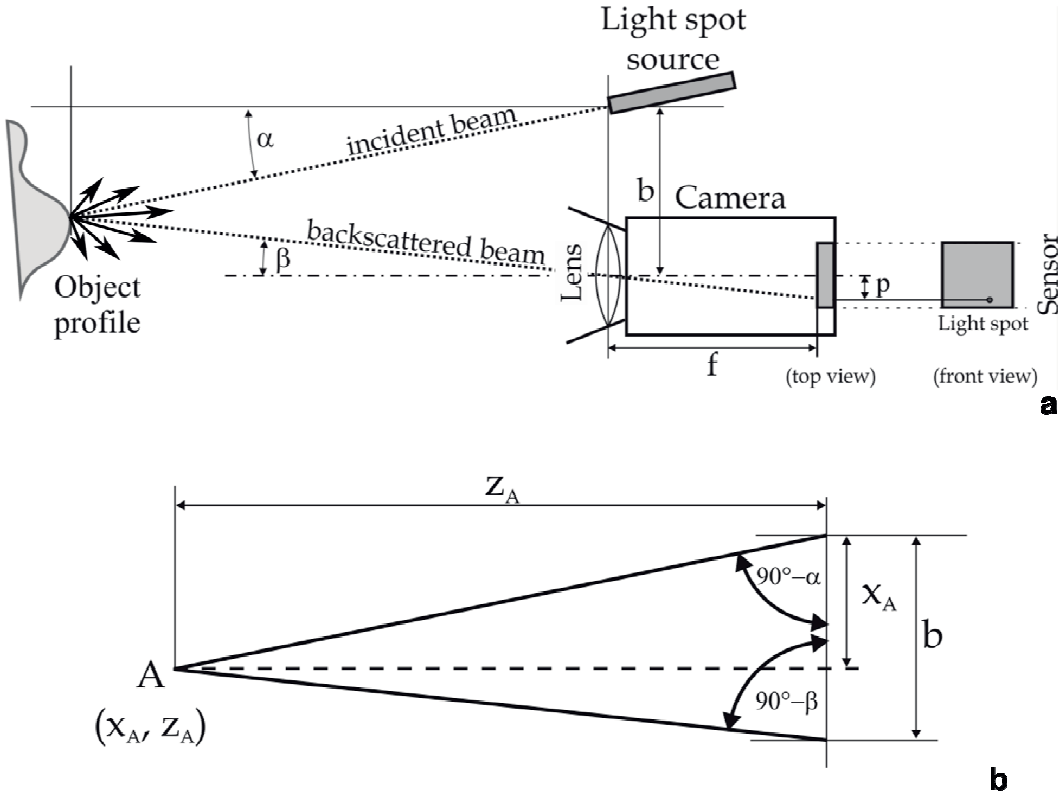


*Figura 3.4. Principio della triangolazione (GUIDI, REMONDINO 2012, pp. 69-102) a) Il fascio di luce, inviato dalla sorgente, colpisce un punto sulla superficie con una certa inclinazione (α), rispetto al sistema di riferimento, ed è retrodiffuso (*Lambertian diffusive reflection*) verso il sensore, che ricava la misura; b) schema per la valutazione della distanza z_A e delle coordinate (x_a e z_a).*

La regione d'interesse (*Region Of Interest*, ROI) corrisponde al volume utile di ripresa ed è indicata dalla profondità di campo del sistema, costituito dal sensore d'illuminazione e dall'ottica. Con una camera a fuoco fisso, l'area d'interesse è definita nell'intervallo di distanza che compare a fuoco nell'immagine; per una maggiore precisione, anche il fascio *laser* deve essere focalizzato, mantenendo invariata la dimensione dello *spot*. In questo caso, il volume da indagare è stabilito dalla sua ampiezza, determinata dai 2 assi paralleli al sensore e dalla profondità di campo, secondo

la direzione *z* ortogonale; è anche possibile intervenire inclinando il ricevitore, rispetto al piano dell'ottica, per incrementare il ROI.

Il sistema descritto si riferisce al principio della triangolazione basato su un singolo *spot laser* e acquisisce le coordinate *x, z*di un punto nello spazio (fig. 3.5 a). È possibile estenderlo ad un insieme di punti allineati che vanno a formare un segmento, ovvero una lama di luce *laser* (*single sheet of light*), generata dal fascio riflesso da uno specchietto rotante o da una lente cilindrica. La proiezione ha queste caratteristiche nel caso di superfici piane, mentre si deforma quando sono complesse. Si determinano più profili ravvicinati, dove ciascuno si comporta come descritto per il singolo *spot* e sono registrate le coordinate *x, y, z* di una sequenza di punti nello spazio (fig. 3.5 b).

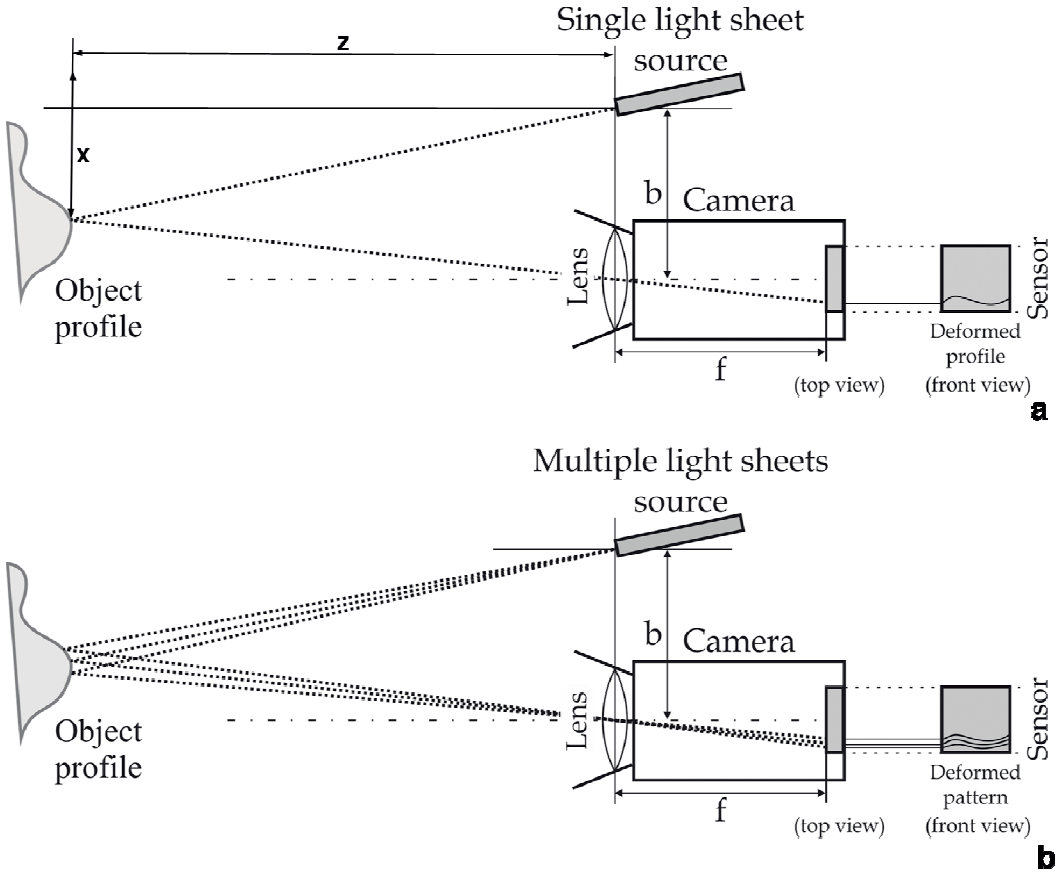


Figura 3.5. Acquisizione delle coordinate su un unico profilo o più profili (GUIDI, REMONDINO 2012, pp. 69-102). a) un singolo fascio di luce laser *rileva un profilo deformato, in base alle caratteristiche della superficie; b) fasci multipli di luce* laser*, poi retrodiffusi e acquisiti dal sensore, dove sono trattati singolarmente, registrano più profili ravvicinati.*

I sensori maggiormente impiegati nel campo dei Beni Culturali definiscono la geometria 3D della superficie, restituendo immediatamente *range image* o *map*, indicate come nuvole di punti strutturate, attraverso movimenti meccanici micrometrici del sensore (rotazioni e traslazioni), al fine di restituire *datasets* accurati, come nel caso dei *laser scanner*.

Tra gli altri strumenti a triangolazione, si ricordano i proiettori di luce strutturata (*pattern projection sensors*), dove le lame di luce, costituite da strisce orizzontali o verticali bianche e nere, sono prodotte simultaneamente e l'area colpita è rilevata con una camera digitale, usando ciascuna striscia come profilo geometrico. Il principio di funzionamento è il medesimo descritto in precedenza e si differenzia per l'assenza di movimenti meccanici degli apparati interni, oltre alla maggiore velocità d'utilizzo.

I sensori a triangolazione rilevano oggetti anche di ampia dimensione (statue), attraverso l'allineamento di più scansioni, ma è necessario mantenere nello stesso ordine di grandezza la distanza camera/sorgente (*baseline*) e camera/*target*, con rapporto ottimale compreso tra 1 (buona precisione) e 5 (scarsa precisione).

3.3.2 Sistemi basati sulla misuradi distanza

Per acquisire oggetti di grandi dimensioni, come edifici, complessi architettonici o infrastrutture, si usano sensori a tempo di volo. Si tratta di strumenti derivati dalle stazioni totali, costituite da un teodolite, con dispositivo ottico, per misurare un preciso punto o *target* nello spazio, un goniometro per rilevare l'orientamento orizzontale e verticale e un distanziometro elettronico, che invia l'impulso *laser* e misura il tempo impiegato dalla luce per arrivare alla superficie e tornare allo strumento. Da questo deriva il metodo definito tempo di volo(TOF), che calcola la distanza strumento-superficie e, noti gli angoli, consente di risalire alle coordinate 3D del punto colpito dal *laser*.

La stazione totale richiede l'intervento dell'utente per acquisire specifici punti nello spazio, mentre il *laser scanner* automatizza il processo, orientando nuovamente la direzione di puntamento e gli angoli orizzontali e verticali, basandosi su una programmazione predefinita.

Nello schema semplificato di funzionamento del sistema (fig. 3.6) s'ipotizza l'acquisizione su un piano *x*-*z*. Dopo aver misurato l'angolo α, grazie al sistema di movimentazione meccanica della sorgente, la distanza ρ è ricavata attraverso il calcolo del tempo di volo, per ottenere le coordinate cartesiane del punto *A* (*x, z*) sulla superficie dell'oggetto.

Quando si rileva un punto in una scena 3D reale, oltre all'angolo verticale, si acquisisce anche l'orizzontale e si convertono in tridimensionali le coordinate (x_A, y_A, z_A).

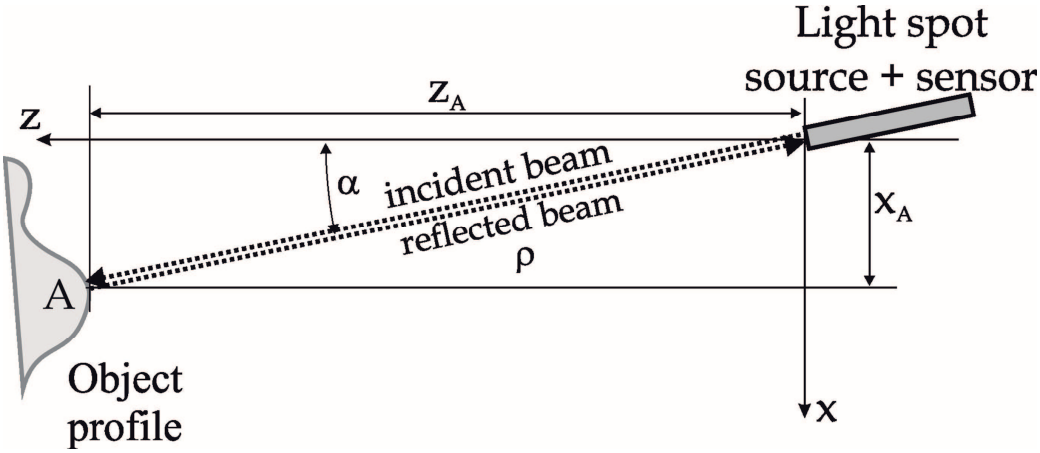


Figura 3.6. Principio di funzionamento di un sistema a tempo di volo (GUIDI, REMONDINO 2012, pp. 69-102). Sono acquisite le coordinate del punto A, conoscendo a priori l'angolo α e la misura della distanza ρ, ricavata calcolando il tempo di percorrenza di un impulso, dal sensore all'oggetto e viceversa.

La precisione del dato è relazionata all'accuratezza nella stima degli angoli ed alla misura della distanza.

In fase di acquisizione, lo strumento compie un movimento angolare di 360° orizzontalmente e in prossimità dei 180° verticalmente, catturando un volume sferico da una posizione fissa. Il rilievo restituisce una nuvola di punti non strutturata, a causa della procedura di campionamento angolare della sfera, che non mantiene un passo fisso, portando a modificare le dimensioni della linea di scansione.

I sistemi che si basano sulla misura della distanza, in genere sono indicati come *Laser Radar* o LIDAR, anche se spesso l'acronimo è usato per indicare una specifica categoria di *airbone laser scanner,* in grado di lavorare da una distanza compresa tra il mezzo metro e qualche chilometro, montati su piattaforme aeree o veicoli in movimento su strada o acqua.

Tra i sistemi per la misura di distanza, vi è il metodo di trasmissione a onda pulsata (*Pulsed Wave*, PW), basato sull'emissione di brevi impulsi, in parte retrodiffusi dalla superficie e catturati dal sensore che li riconverte in un segnale elettrico, proporzionale all'intensità luminosa acquisita. La misura del tempo necessario a percorrere la distanza tra strumento e punto, si ottiene conteggiando l'unità temporale tra le frazioni di secondo che intercorrono tra la partenza dell'impulso, nota a priori al sensore, e l'istante in cui si determina strumentalmente un valore luminoso che superi una soglia prefissata. Moltiplicando la velocità e il tempo impiegato, si ricava il valore doppio della distanza tra sensoree superficie, ovvero il percorso in andata e ritorno.

Altri sistemi di stima del ritardo utilizzano una codifica del segnale luminoso, che identifica lo sfasamento, determinando un fascio di luce non più impulsivo, ma basato su radiazione luminosa continua (*Continuos Wave,* CW), modulata in intensità, con frequenza conosciuta. La retrodiffusione trasmette un'onda sinusoidale in ritardo, rispetto a quella inviata, caratterizzando una differenza di fase. Il calcolo della distanza si ottiene dal segnale usato dal *laser,* che modula l'intensità luminosa sinusoidalmente, producendo il raggio, propagato verso il bersaglio. Dopo la retrodiffusione, il sensore lo riconverte a segnale elettrico, espresso come una versione sfasata del precedente. Si ricava una frequenza doppia e modulata, dove una è caratterizzata da una fase pari alla somma delle 2 e l'altra con fase pari alla differenza delle 2. Il risultato ricavato dal valore angolare è direttamente proporzionale al tempo di volo, mentre la distanza può essere valutata in modo simile al caso precedente. Si tratta di una procedura indiretta, da cui si ottiene minore incertezza e ambiguità, anche per brevi distanze.

Infine, vi è il sistema ad onda continua CW, che impiega onde con 2 o 3 differenti modulazioni di frequenza, aumentate o diminuite linearmente in un certo intervallo di valori (*chirp*), definendo una procedura basata su modulazione di frequenza (*Frequency Modulation,* FM). La generazione continua della luce porta a indicare lo strumento come FM-CW. L'approccio è in grado di ridurre l'incertezza di misura ad un livello molto basso rispetto ai *laser* PW e CW, arrivando fino a 100 μm. Di conseguenza è possibile acquisire soggetti a grande scala, ad una distanza tra 1 e 20 m, con una precisione maggiore rispetto ai *laser* a triangolazione, il cui campo d'azione è limitato a distanze comprese tra 0.5 e 2 m.

3.4 Confronto e integrazione tra tecniche passive e attive

I Beni Culturali sono soggetti complessi per dimensioni, caratteristiche geometriche, proprietà fisiche della superficie, cui si aggiunge il contesto ambientale, che condiziona le fasi di acquisizione e restituzione. Ricerche pluridecennali hanno confermato che non esiste una tecnica "ideale"[16] e che è opportuno lavorare integrando sensori attivi e passivi o dello stesso tipo, per meglio adattarsi al contesto, ricavare maggiori informazioni e verificare la qualità del dato.

La conoscenza approfondita di ciascuna tecnica e delle sue peculiarità aiuta a pianificare il rilievo, considerando le molteplici varianti e scegliendo tra le soluzioni *image-based* o *range-based*, che meglio rispondono alle esigenze del singolo Bene Culturale[17].

La fotogrammetria e gli algoritmi semi-automatici o automatici si applicano a più scale di grandezza, restituendo un *dataset* accurato e preciso, con un alto livello di dettaglio, dove ad ogni punto sono associate coordinate 3D (*x, y, z*) e radiometriche (RGB). Le *texture*, che rendono l'aspetto più realistico, sono allineate al dato geometrico e derivano dall'elaborazione diretta d'immagini, evitando la laboriosa fase di *texture mapping*, necessaria nel caso si usino sensori attivi che non incorporano una fotocamera. L'avanzamento tecnologico degli ultimi anni consente di ottenere un'elevata risoluzione per la restituzione geometrica e radiometrica.

Il modello è accompagnato da *metadata* e *paradata*[18], che aggiungono informazioni, legate agli aspetti storico-culturali, alla gestione e alle tecniche relative al rilievo e all'elaborazione.

Le modalità di visualizzazione sono molteplici: visione stereoscopica, peculiare della fotogrammetria, restituzione di dati multi-risoluzione, in cui presentare più livelli di dettaglio e l'integrazione in più sistemi di gestione o fruizione.

Durante l'elaborazione, alcuni errori possono derivare dalla calibrazione della camera, monitorabile con procedure non automatiche, altri dall'accuratezza nella misura, in stretta relazione alla qualità delle immagini (rumore, bassa qualità radiometrica, ombre, ecc.) e dalle proprietà delle superfici (luminosità o oggetti senza *texture*), diminuendo la precisione nella restituzione della nuvola di punti. Per ottenere risultati metrici dalle immagini, è necessario inserire almeno una distanza nota o i GCP, che orientano l'oggetto nello spazio, rispetto ad un sistema di riferimento globale o locale.

I *laser scanner* semplificano il rilievo e restituiscono accuratamente la geometria 3D di oggetti con forme libere (*free-form*), acquisendo in breve tempo grandi quantità di punti. I problemi sono causati da vertici, spigoli e superfici e con materiali che assorbono o trasmettono il fascio di luce, anziché retrodiffonderlo. I tempi di elaborazione possono essere lunghi e talvolta includono anche

[16] BOEHLER, MARBS 2004, pp. 291-298; ALSHAWABKEH, HAALA 2004, pp. 537-546; REMONDINO*et al.* 2004, pp. 216-225.
[17] PATIAS 2007, pp. 225-257;REMONDINO*et al.* 2014, pp. 144-166; GUIDI*et al*. 2010, pp. 173-194.
[18] Cfr. § 3.5.

la fase di *texture mapping*. Come nei sensori passivi, il dato è impiegato in più sistemi di visualizzazione e integra *metadata* e *paradata*.

Agli inizi del 2000, la fotogrammetria appariva come una tecnica molto laboriosa, dai costi sostenuti (*hardware* e *software*), passando così in secondo piano con la diffusione del *laser scanner,* che richiedeva maggiori investimenti, ma era di semplice impiego e restituiva direttamente una nuvola di punti densa e strutturata. La tecnica è stata rivalutata, a seguito dell'avanzamento tecnologico e della ricerca, che hanno portato ad un minore investimento economico e alla diffusione di applicativi *open source* e *web-based*, affiancati da *hardware* con maggiori prestazioni e basso costo. Inoltre, si sono introdotti nuovi algoritmi, come SfM e *image-matching*, che mirano a semplificare la fase di calibrazione ed elaborazione, oltre a restituire una nuvola di punti 3D densa e strutturata, con buoni risultati anche in termini di dettaglio, confrontabili ai dati geometrici dello *scanner 3D*, in termini di accuratezza, precisione e ricostruzione[19].

Infine, a seguito dell'ampia diffusione di *smartphone* e *tablet*, sono disponibili applicazioni per dispositivi mobili, basate su tecniche *image-based* e *range-based*, che però restituiscono minor dettaglio[20], rispetto alla strumentazione scientifica.

Le tecniche rispondono in modo diverso alle proprietà ottiche e alle caratteristiche geometriche di una superficie, adattandosi a campi applicativi distinti e determinando l'integrazione tra procedure basate su sensori attivi e passivi.

Dal confronto emerge come le tecniche possano essere considerate complementari tra loro e dall'integrazione di più sensori si dovrebbero ottenere[21]:

- una procedura robusta delle operazioni,
- estensione della copertura spaziale/temporale dell'acquisizione,
- riduzione dell'ambiguità,
- maggiore affidabilità nelle misure e nella risoluzione,
- ampio approccio dimensionale.

Questi aspetti aumentano il livello informativo; infatti, mentre il singolo sensore restituisce con precisione un solo particolare dell'oggetto, l'uso integrato favorisce l'acquisizione di più elementi; inoltre si gestisce l'incertezza, ovvero la qualità del dato, legata alla risoluzione e al dettaglio, in una situazione con più variabili, come le caratteristiche dello strumento, il contesto ambientale e le competenze dell'operatore. Una metodologia che integra più tecniche deve ridurre al minimo il

[19] FASSI *et al*. 2013, pp. 73-80: KOUTSOUDIS *et al.* 2014, pp. 73-79; REMONDINO, POLI 2014, pp. 6-8.

[20] I sistemi *range-based* sono disponibili per iPad e iPhone con http://cubify.com/it/products/isense, per tutti gli *smartphone* con http://www.eora3d.com/index.html e per *tablet* e *personal computer* è parzialmente disponibile la tecnologia Intel RealSense http://www.intel.it/content/www/it/it/architecture-and-technology/realsense-devices.html; infine, per gli *image-based* vi sono soluzioni multi-piattaforma e multi-dispositivo, come http://www.123dapp.com/catch.

[21] HONG 1999, pp. 7-28.

livello di errore, cercando di ricavare quanto più possibile da ciascun sensore[22]. In letteratura vi sono numerosi esempi di ricerche che hanno integrato le due procedure [23] per sfruttare le potenzialità di ciascuna tecnologia e raggiungere gli obiettivi. Nei capitoli 4 e 6, si presentano alcuni casi di applicazione e integrazione delle tecniche descritte.

[22]BERALDIN 2004, pp. 972-983.
[23]GUIDI*et al.* 2003, pp. 667-676; IOANNIDIS, TSAKIRI 2003, pp. 517-522; GUIDI*et al.* 2009, pp. 39-55.

3.5 Gestione e visualizzazione del dato

Le fasi di elaborazione saranno ampliamente trattate nel capitolo 4, mentre l'attenzione è ora sui sistemi di gestione e archiviazione dei dati, ottenuti con tecniche di rilievo *reality-based* o da fonti storiche e archeologiche. È fondamentale garantire la loro visualizzazione, validità nel tempo e rendere disponibile il materiale per nuove analisi e la fruizione da parte del pubblico[24].

Vi sono numerosi tipi di dato (grafica 2D, *raster* 2D o 2.5D, grafica vettoriale 2D e 3D, ecc.) e i formati di archiviazione si distinguono tra aperti o chiusi. Nel primo caso, sono codificati secondo specifiche di dominio pubblico e usati liberamente in più *software* e sistemi operativi, mentre nel secondo hanno alcune limitazioni, perché gestiti da aziende e legati all'uso di un programma specifico.

In questa ricerca si è lavorato principalmente con dati 3D, che registrano contenuti geometrici, ovvero punti, vertici e poligoni, opportunamente interpolati tra loro, cui si aggiungono l'allineamento di *texture* e la modellazione di elementi di dettaglio sulla superficie. In alcuni casi, sono presenti anche le caratteristiche della scena, come le impostazioni della sorgente di luce[25].

I formati si differenziano per la struttura degli elementi e le informazioni contenute:

- *STereo Lithography* (STL) registra solo i dati geometrici, escludendo colore, *texture* o altre proprietà legate all'oggetto. È gestibile in più ambienti di modellazione ed è usato per la stampa tridimensionale. Inoltre, da settembre 2014, ha ottenuto il riconoscimento*standard* ISO[26].
- OBJ (sviluppato da *Wavefront Technologies*) registra la geometria, le *texture* e le proprietà della superficie, oltre a restituire buoni risultati per l'esportazione verso altri *software* di modellazione.
- Autodesk FBX (*FilmBoX*) garantisce l'interoperabilità tra contenuti digitali e applicazioni, poiché registra le configurazioni di camera, luce, *mesh*, *texture* ed altri elementi della scena 3D.

I formati sono scelti considerando i contenuti da archiviare, al fine di restituiremaggiore dettaglio, una corretta visualizzazione e consentire l'esportazione verso altre applicazioni. OBJ, usato per la gestione dei dati (capitoli 4 e 6), ha soddisfatto pienamente le richieste e ha presentato gli errori minori, nella conversione delle geometrie tra più ambienti.

Successivamente, si aggiungono i *metadata* e *paradata*, che qualificano e strutturano da un punto di vista semantico il dato, con informazioni utili ad identificare l'oggetto e le procedure seguite per la

[24] LOPEZ-MENCHERO, GRANDE 2011, pp. 1-5; http://www.londoncharter.org.
[25] MCHENRY, BAJCSY 2008, pp. 1-21.
[26] ISO/ASTM 52915:2013.

digitalizzazione e modellazione[27]. I *metadata* riportano una descrizione dettagliata degli artefatti o dei monumenti, trattando gli aspetti fisici relativi alle caratteristiche della superficie, e storico-culturali, tra cui il contesto di origine, una descrizione dettagliata, la datazione, il luogo o l'istituzione di conservazione e la collezione di appartenenza. I *paradata* descrivono la tecnica con la quale i dati 3D sono acquisiti, la strumentazione e le tecnologie impiegate (modello di camera, lenti usate, *laser scanner* a triangolazione o a tempo di volo, ecc.) ed il processo e i *software* usati per l'elaborazione. In Appendice A, si presentano gli schemi usati per la descrizione dei *metadata* e *paradata*, relativi ai reperti su cui si è lavorato[28].

Per la stesura di *metadata* e *paradata* è utile considerare gli schemi adottati all'interno della struttura che conserva il bene, purtroppo non sempre presenti o non completi di tutti i parametri; di conseguenza è importante l'allineamento con gli *standard* internazionali, che semplifica la diffusione e la condivisione del bene. Nel 1995-1996, con l'avvio del progetto *Dublin Core Metadata Initiative* (DCMI)[29], all'interno della grande rete di servizi americana per le biblioteche, *Online Computer Library Center* (OCLC), si è elaborato il primo schema per la stesura di metadati, usato ancora oggi, come riferimento dai vari enti che si occupano d'informatizzazione.

La Commissione Europea ha finanziato più progetti, volti alla digitalizzazione del patrimonio culturale e alla loro diffusione *online*, attraverso portali come Europeana[30], che consente l'accesso a milioni di libri, dipinti e oggetti contenuti in esposizioni museali e archivi, informatizzati attraverso singoli progetti. Tra questi 3D Icons[31], che ha portato alla modellazione 3D di beni museali e monumentali ed allo sviluppo di un modello di riferimento per la stesura dei *metadata* e *paradata*.

A livello nazionale-italiano, l'*Istituto Centrale per il Catalogo Unico* (ICCU) ha definito gli *standard* per le normative catalografiche, descrittive, la catalogazione semantica ed i metadati per il recupero, l'accesso e la gestione delle risorse digitali, con riferimento a più beni (cartografia storica, beni musicali, librari, ecc.)[32].

L'obiettivo è ottenere una visualizzazione scientifica dei risultati[33], con dettaglio multi-risoluzione della geometria e l'associazione di *texture*, per rendere più realistico l'oggetto, oltre all'integrazione di contenuti informativi, relativi agli aspetti storico-culturali. Si devono poter svolgere nuove analisi, ricavare interpretazioni, contestualizzare il bene e creare relazioni con altri oggetti.

[27] CORNS 2014.
[28] Gli schemi di *metadata* e *paradata,* in Appendice A, sono stati distribuiti durante la III Summer School Rilievo e Modellazione 3D (Paestum, giugno 2014), organizzata dal gruppo 3D Optical Metrology (Fondazione Bruno Kessler, Trento) e dall'Università di Salerno.
[29] http://dublincore.org.
[30] http://www.europeana.eu/portal.
[31] http://3dicons-project.eu/eng. I precedenti progetti europei, usati come riferimento per la stesura degli schemi sono CARARE (http://www.carare.eu/) e 3D-COFORM (http://www.3d-coform.eu).
[32] http://www.iccu.sbn.it/opencms/opencms/it/main/standard.
[33] REMONDINO 2003, pp. 1-11.

L'interfaccia di visualizzazione deve gestire più livelli informativi e presentare la segmentazione del modello, ovvero la scomposizione della geometria 3D in sotto-elementi di semplice e immediata comprensione, cui associare le proprietà ed il contenuto semantico, come il contesto storico, artistico o culturale e le tecniche di realizzazione[34].

I contenuti sono organizzati e gestiti in *repository* o *database (Database Management System,* DBMS*),* costituti da entità, cui si associano attributi e metadati, relazionati tra loro all'interno di tabelle, collegate a loro volta. L'utente interroga il sistema, tramite un'interfaccia grafica interattiva, attraverso la visualizzazione del modello 3D o altri percorsi, per richiamare le informazioni. Un *repository* 3D[35] gestisce i dati e associaloro informazioni geografiche, supporta le funzioni di selezione e *query*, consente la visualizzazione e le analisi spaziali.

Numerosi sistemi *web-based*[36] sfruttano lo sviluppo tecnologico raggiunto negli ultimi anni in termini di risoluzione e organizzazione dei *metadata*, ma i risultati sono spesso vincolati agli obiettivi del progetto, al suo ambito territoriale e ai limiti imposti dalle Istituzioni che detengono il *copyright*. È ampiamente diffuso anche l'uso di dispositivi mobili con applicazioni programmate per visualizzare contenuti digitali, all'interno di un percorso museale, culturale e archeologico[37]. Le tecnologie, inserite in questi contesti, sono funzionali alla gestione, alla fruizione e alla valorizzazione dei dati. L'evoluzione dei sistemi ha determinato lo sviluppo di nuovi settori di ricerca[38], usati come riferimento per le sperimentazioni, presentate nel capitolo 6.

[34] MANFERDINI*et al.* 2008, pp. 221-228; MANFERDINI, REMONDINO 2010, pp. 110-124; MANFERDINI, REMONDINO 2012, pp. 103-123.
[35] MANFERDINI*et al.* 2008, pp. 221-228.
[36] http://www.3d-coform.eu; http://epoch-net.org/site; http://www.europeana.eu/portal; http://vcg.isti.cnr.it/3dhop; http://www.map.archi.fr/nubes/NUBES_Information_System_at_Architectural_Scale/Home.html; https://sketchfab.com/britishmuseum; http://www.digitalepigraphy.org/museum/index.html; http://www.cyark.org.
[37] https://itunes.apple.com/it/app/matera-citta-narrata-itinerari/id442680664?mt=8; http://www.chessexperience.eu; http://www.muboproject.it/go/ok-venice.
[38] Cfr § 3.7.

3.6 Gestione in ambiente GIS

Gli ambienti GIS presentano le caratteristiche di un *repository* 3D, organizzando spazialmente gli elementi e integrano più tipi di dato, acquisiti con tecniche *reality-based,* ricavati da fonti storiche e cartografiche, da analisi statistiche e *database*[39].

Le geometrie sono gestite creando relazioni topologiche tra elementi vicini (unione/separazione, inclusione e intersezione), cui si associano informazioni tematiche o attributi, mediante l'integrazione in *Relational Database Management System* (RDBMS), che elaborano modelli relazionali, organizzati in tabelle, registrando gli attributi di uno stesso oggetto e collegandoli alle singole entità geometriche. Le interrogazioni (*query*) si eseguono tramite analisi spaziali ed evidenziano le entità all'interno di un ampio *dataset*, richiamando le singole *features* o le relazioni tra gli elementi.

I dati si distinguono in *raster* e vettoriali (figg. 3.7 a, b). L'unità elementare di un *raster* è la cella, ciascuna con la medesima forma e dimensione, cui si lega la risoluzione. Sono usati per rappresentare vari elementi spaziali continui, come l'elevazione del terreno, classi di suolo, ecc. Inoltre, la struttura regolare e l'associazione di un valore a ciascun'unità consente operazioni di *map algebra,* combinando mappe diverse e quanto associato alle celle.

I dati vettoriali 2D sono costituiti da primitive geometriche, ovvero punti, linee e poligoni, georeferiti secondo un sistema di riferimento noto. Si tratta di entità singole, che organizzate in gruppi, determinano la formazione di elementi complessi, come fiumi e strutture. Appartengono alla categoria anche i *Triangulated Irregular Networks* (TIN), costituiti da nodi irregolari e linee con coordinate 2D e 3D, organizzati in una rete di triangoli non sovrapposti (fig. 3.8). Sono usati per rappresentare superfici del terreno o qualsiasi altra *feature* continua, contengono aree con differenti densità di punti (ciò determina la risoluzione e la restituzione di dettaglio) e ad ogni singolo oggetto vettoriale si possono associare più attributi.

[39] AGUGIARO 2014, pp. 101-110.

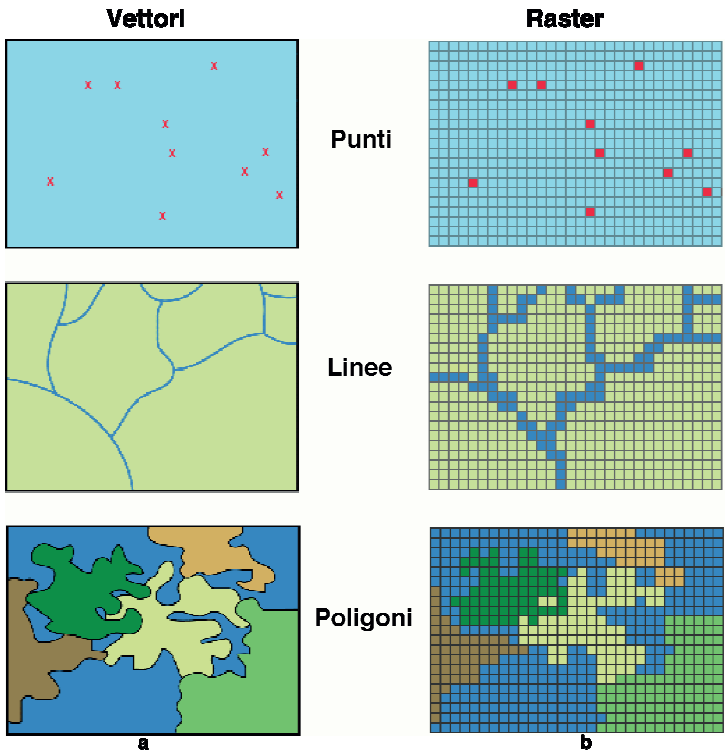


Figura 3.7. Distinzione tra dati vettoriali e raster *in un GIS (http://gisinfo.hertsdirect.org/GISdata/vectorraster.htm). Presentazione di punti, linee e poligoni in formato vettoriale (a)* e raster *(b).*

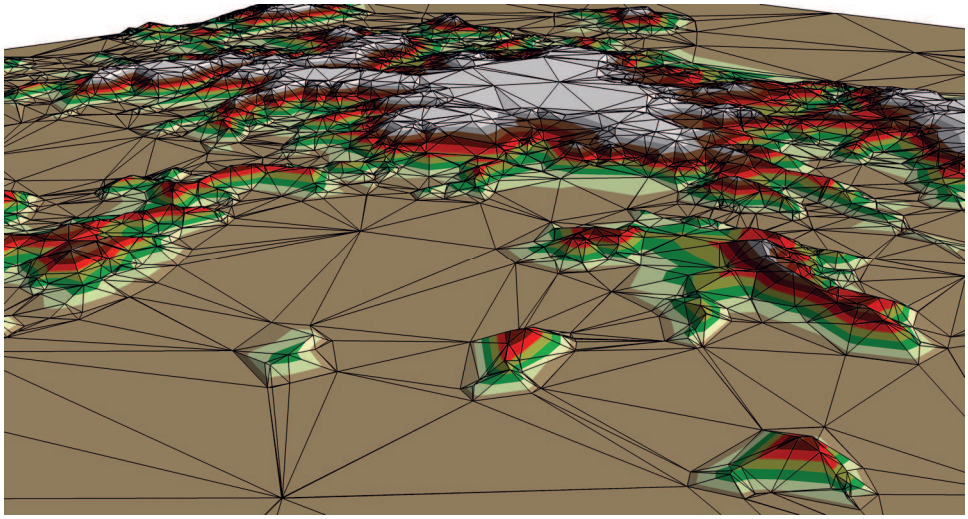


Figura 3.8. Esempio di Triangulated Irregular Network *della parte nord-est dei Colli Euganei, ottenuto dal* Digital Elevation Model *(DEM) in formato* raster.

Il GIS gestisce presentazioni multidimensionali, in rapporto alle informazioni associate ai dati e nel caso di *raster* 2D, quando ciascuna cella riporta un valore riferito all'altezza (terza dimensione), è possibile passare ad una visualizzazione 2.5D, intermedia, per contenuti e significato, tra 2D e 3D.
I *Volumetric pixels* o *Volumetric Picture Elements*(*voxels*) sono simili ai *raster*, ma registrano le coordinate 3D e corrispondono all'unità elementare di un volume, rappresentato graficamente con la forma di un cubo o un cuboide, in cui sono note l'altezza, la larghezza e la profondità (fig. 3.9). Ai *voxels* è possibile associare un valore numerico o un collegamento ad una tabella esterna, che contiene attributi. Sono usati per le *features*continue 3D, come strati geologici, atmosferici e le loro caratteristiche; inoltre, superano alcuni limiti dei *raster*, consentendo di presentare sporgenze, cave, archi o altri elementi 3D.



Figura 3.9. Voxel *(http://grass.osgeo.org/screenshots/3D). a) Il* voxel *è la singola unità di una rappresentazione volumetrica; b) esempio di* voxel *basato su un'isosuperficie per rappresentare la concentrazione di precipitazione in una precisa area.*

Infine, quando alla terza dimensione si aggiungono le variabili di tempo, si ottiene una visualizzazione 4D, dove ciascun'entità è costituita da una sequenza temporale, definendo le proprietà dell'oggetto o le dinamiche di un processo in atto, in uno specifico istante. In questo caso, dalle interrogazioni si ricavano informazioni spaziali e temporali, evidenziando i cambiamenti di un elemento o di un ambiente reale in un determinato periodo di tempo.
In altri casi, i dati sono trasmessi direttamente dagli strumenti di rilievo, come i ricevitori *Global Navigation Satellite System* (GNSS), che restituiscono un'accuratezza centimetrica e sono usati nel GIS per ricavare misure. Inoltre, si gestiscono nuvole di punti da *laser scanner* aerei e terrestri oppure ottenute con l'elaborazione d'immagini, usando sistemi multi-scala e multi-piattaforma, tra cui UAV, fino a dati *radar* e immagini multi-spettrali da satellite, utili per identificare classi di elementi. Infine, i più recenti GIS si collegano direttamente a *repository online*, per ricavare *geodata*.

Non esistono formati *standard* per l'archiviazione dei dati, ma gli *shapefile* di ESRI sono ormai accettati da tutti i *software* per la condivisione delle entità vettoriali, mentre nel caso dei *raster* il panorama è più ampio, sebbene il *geo(tiff)* sia maggiormente diffuso. Inoltre, molti sistemi registrano i dati vettoriali e *raster* in *geodabase*, che gestiscono e richiamano le entità spaziali[40].
Infine, s'inseriscono i *metadata*, che qualificano il dato con maggiori informazioni, come il tipo di fonte, la qualità, l'accuratezza, la struttura e altre eventuali informazioni.
In ambiente GIS si eseguono più analisi spaziali, ricavando nuovi risultati e interpretazioni[41] come le sovrapposizioni tra le mappe per relazionare le informazioni, i *buffer* per delimitare un'area attorno ad un elemento, le analisi sul terreno svolte soprattutto tramite DTM e DSM, le analisi di visibilità, ecc.
Il GIS è usato principalmente per gestire i dati territoriali, registrando le loro caratteristiche spazio-temporali, mediante la suddivisione in *layer* tematici,distinti per stile (colore, simboli, ecc.), da cui ricavare mappe 2D e visualizzazioni multidimensionali (2D, 2.5D, 3D, 4D), per eseguire nuove analisi, elaborare interpretazioni e comprendere i rapporti tra gli elementi antropici e naturali, presenti nelle diverse fasi, al fine di evidenziarne le trasformazioni.
I *geodata*, esportati in *software* di grafica 3D, consentono di elaborare ricostruzioni virtuali, che ricreano l'ambiente storico-archeologico, mantenendo le caratteristiche spaziali e integrando elementi naturali e antropici, con maggiori possibilità di visualizzazione, analisi e comprensione da parte delle diverse classi di utenza.
Nel campo dei Beni Culturali, le procedure descritte trovano applicazione anche in ambito architettonico e pittorico attraverso la gestione, l'analisi, le interrogazioni e la presentazione 2D o 3D dei dati, elaborati con tecniche *reality-based* e integrati in un *geodatabase*, in cui si associano *datasets* vettoriali, *raster*, attributi o altre informazioni, con l'obiettivo di pianificare interventi di restauro, tutelare il bene, ma anche indagare eventuali deformazioni o danneggiamenti subiti dalla struttura nel corso del tempo, lo stato di conservazione, le tecniche di realizzazione, i materiali impiegati, ecc[42].
Altre applicazioni sono in ambito strettamente archeologico, dove il GIS è usato per selezionare le aree da indagare, poiché integra i dati ricavati con tecniche multi-scala, acquisiti con prospezioni geofisiche e attraverso l'analisi delle immagini aeree e da satellite, presentando un'interpretazione della stratigrafia, che sarà confermata solo con lo scavo[43].

[40] Tra le soluzioni commerciali si ricorda IBM DB2, con Spatial Extender o Oracle Spatial (http://www-01.ibm.com/software/data/db2) e per gli *open source* PostgreSQL (http://www.postgresql.org).
[41] http://www.spatialanalysisonline.com.
[42] PIRES *et al.* 2007, pp. 1-6; CENTOFANTI*et al.* 2011, pp. 9-14; REMONDINO*et al*. 2011, pp. 439-461; BERTOZZI*et al.* 2015, pp. 1-8.
[43] NEUBAUER 2004, pp. 159-166.

Ogni intervento archeologico è distruttivo, di conseguenza è fondamentale documentare la disposizione dei singoli strati e degli elementi che li caratterizzano con tecniche *reality-based*, i cui risultati sono integrati in ambienti GIS, presentandoli in estensione e in profondità, per condurre nuove analisi, combinare tra loro i vari livelli deposizionali e le entità spazio-temporali[44].

Il GIS trova applicazione in sistemi *web-based*, gestibili tramite *browser* su *desktop* o con dispositivi mobili, dove si visualizzano e condividono le mappe, i contenuti associati e si creano percorsi[45], oltre ad acquisire dati[46]. I *geodata* sono strutturati in diversi modi: *Web Map Service*, che presenta i contenuti come immagini georeferenziate, disponibili *online*; *Web Feature Service*, che organizza in modo indipendente ogni singola *feature*, analizzandola e interrogandola; *Web Coverage System*, in cui qualsiasi entità può presentare fenomeni spaziali o relativi alle variazioni di tempo. Gli *standard* sono però definiti a livello internazionale dall'*Open Geospatial Consortium*[47], che incoraggia lo sviluppo e l'implementazione di *standard* aperti per i contenuti e i servizi geospaziali, l'elaborazione in ambiente GIS e la condivisione dei dati.

Sono ampiamente diffuse anche applicazioni che visualizzano i dati 3D, mediante globi virtuali, presentando la superficie tridimensionale della terra, con immagini satellitari e DEM e integrando dati *raster* o vettoriali (2D, 2.5D e 3D) ricavati da un particolare *dataset*[48].

Altre applicazioni per *desktop* o dispositivi mobili, fruibili senza collegamento *web* visualizzano *geodata* 2D, cui associare percorsi o altri contenuti[49], mentre per il 3D trovano largo impiego sistemi sviluppati nel campo dei videogiochi e adattati per la gestione di dati spaziali, come Unity3D, OGRE3D, OpenSG, 3DVIA Studio Pro[50]; è ancora difficile gestire modelli *reality-based* complessi e non sono ancora disponibili strumenti per l'interrogazione dei dati.

[44] CONOLLY, LAKE 2006, pp. 33-50; NEUBAUER, DONEUS 2008, pp. 45-52.
[45] Google Maps (https://www.google.it/maps); Microsoft, Bing Maps (http://www.bing.com/mapspreview).
[46] Open Street Map (https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100).
[47] http://www.opengeospatial.org.
[48] Tra le applicazioni proprietarie, si ricordano Google Earth (https://www.google.it/intl/it/earth) e Microsoft Bing Maps 3D (http://www.bing.com/maps/Help/VE3DInstall/Default.aspx?action=install), tra le *open source*, vi sono Nasa World Wind (http://worldwind.arc.nasa.gov/java), OssimPlanet (http://trac.osgeo.org/ossim) e osgEarth (http://osgearth.org).
[49] ESRI ArcGIS for Developer (https://developers.arcgis.com/en/arcgis-runtime/offline), MB&G Mobile Map (http://www.masonbruce.com/technology/mobilemap), Python for QGIS (http://www.qgis.org/it/site), Open Street Map (https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100).
[50] https://unity3d.com; http://www.ogre3d.org; http://www.opensg.org/htdocs/doc-1.8/index.html; http://www2.3ds.com/products-services/3dvia/3dvia-studio/welcome.

3.7 S*erious games* per comunicare e valorizzare i Beni Culturali

I sistemi tecnologici s'inseriscono nella ricerca e nello studio del patrimonio culturale con l'obiettivo non solo di tutelare e preservare il bene, ma anche di elaborare nuove soluzioni per la gestione e la fruizione nei vari percorsi e canali di valorizzazione[51], per promuovere la conoscenza e lo sviluppo della cultura, attraverso visite piacevoli ed educative, rivolte alle diverse tipologie di pubblico. L'attenzione è rivolta al patrimonio di qualsiasi epoca e tipologia: mobile, immobile e immateriale, ovvero legato alle tradizioni e ai costumi sociali delle diverse aree.

Tali obiettivi si raggiungono attraverso un adeguato sistema comunicativo[52], sviluppato all'interno di un contesto, dove una sorgente "emette" un messaggio codificato, che il ricevente decodifica, per assimilare le informazioni.

Il progresso tecnologico ha mutato le forme di comunicazione sociale, con la diffusione massiva di soluzioni multimediali, fruibili su più dispositivi e con diverse modalità d'interazione, raggiungendo ampie fasce di pubblico, senza limiti spazio-temporali. Si è creato un nuovo tipo di linguaggio, che grazie all'uso combinato d'immagini, video, audio, modelli 3D, ecc., agevola la comprensione di contenuti complessi, presentando i concetti in modo chiaro e facilmente fruibile, creando un'esperienza emozionale e diffondendo conoscenza.

La comunicazione culturale si sta allineando a questi sistemi, ponendo attenzione alla struttura dei contenuti e al linguaggio semplice e comprensibile, che deve caratterizzare l'informazione, ottimizzata in relazione al percorso, contesto o evento d'inserimento, possibilmente senza vincoli tecnologici soggetti a continua evoluzione. Definiti gli obiettivi, si organizzano i contenuti, rapportandoli e selezionandoli per ottenere un messaggio efficace, indipendentemente dall'eterogeneità culturale del pubblico.

I sistemi multimediali raccolgono più dati, organizzandoli per tema, tipologia, datazione, ecc., all'interno di un *repository* o *database*, da cui si ricavano differenti interfacce grafiche, interattive e culturali, che richiamano le informazioni in modo semplice e immediato, all'interno di percorsi tematici, narrativi, tipologici. In alternativa, si possono ricostruire complessi ambienti virtuali o scene 3D, dove l'ambiente reale è simulato e si associano contenuti all'oggetto, facendone emergere il valore semantico.

La comunicazione coinvolge il livello percettivo dell'utente, attraverso un approccio intuitivo ed elaborando ambienti virtuali in cui è possibile muoversi e interagire in vario modo, creando un'esperienza simile a quella reale. Si può comunicare ed educare attraverso sistemi multimediali o

[51] D.L. 22 gennaio 2004, n. 42;
http://www.valorizzazione.beniculturali.it/it/?option=com_content&view=article&id=65&amp.
[52]http://www.valorizzazione.beniculturali.it/it/?option=com_content&view=article&id=55&amp.

serious games[53], fruibili attraverso più dispositivi e interfacce interattive (descritti nei paragrafi successivi). Questi attraggono ampie fasce di pubblico perché hanno caratteristiche simili ai tradizionali videogiochi e alle applicazioni dei dispositivi mobili, usati quotidianamente da utenti delle diverse fasce di età.

L'approccio a queste tecnologie avvia un percorso di apprendimento[54] con la partecipazione attiva dell'utente, all'interno di un contesto, in cui l'ambiente reale è simulato, integrando dati *reality-based* o ricostruzioni storico-filologiche, che favoriscono la comprensione di oggetti decontestualizzati ed esposti nei musei[55], navigando in ambienti "avventurosi", che coinvolgono il pubblico, mettendone in gioco le abilità. L'utente apprende mediante l'esperienza personale[56], interagendo in prima persona e diventando protagonista; inoltre, le presentazioni immersive e multisensoriali, con contenuti audio, visivi (2D, 3D, 4D, ecc.) e tattili, organizzati in modo narrativo, tematico, tipologico, ne attirano l'attenzione, impegnandolo intellettualmente ed emozionalmente.

I *serious games* determinano esperienze emozionali, che l'utente conserva nella memoria, con riscontri positivi nel campo dei Beni Culturali, avvalorati dalle risposte dell'utenza (*feedback*). Inoltre, si creano gli strumenti per valorizzare le diverse categorie di patrimonio materiale, come oggetti, siti archeologici, contesti paesaggistici, attraverso la restituzione digitale, basata su dati reali, per apprezzarne gli elementi costitutivi, associando contenuti informativi e facilitandone la comprensione. Si aggiungono i beni immateriali, ovvero i valori socio-culturali, le tradizioni, le espressioni artistiche, trasmessi attraverso esperienze multisensoriali, che rendono l'utente protagonista, facendogli vivere e apprezzare personalmente il messaggio comunicativo o la pratica sociale. Le ricostruzioni di eventi storici o di particolari periodi, resi più realistici con l'integrazione di rinvenimenti digitalizzati, valorizzano le fonti storiche e i contenuti, aiutando a comprenderli.

L'avanzamento tecnologico dei *serious games* nei Beni Culturali corrisponde a quello dei videogiochi; infatti, sono strutturati nello stesso modo ed in ambito storico-culturale è necessaria la collaborazione di più competenze; in questo caso educatori, archeologi, storici, programmatori e grafici.

Si distinguono più categorie, come i *web-based*, fruibili mediante dispositivi mobili o *online,* su installazioni pubbliche o individuali, con più interfacce d'interazione, impiegando ambienti di realtà virtuale, condivisione sociale, ecc[57]. Si tratta di tecnologie che consentono anche di condividere le

---

[53]NAVARRO*et al.* 2011, pp. 72-75; NAVARRO*et al.* 2012, pp. 143-158; LECLET-GROUX*et al.* 2013, pp. 409-412.
[54]MORENO, MAYER 2007, pp. 309-326.
[55]PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29.
[55]KIRRIEMUIR, MCFARLANE 2007, pp. 1-34; GAMBERINI 2012, pp. 205-244.
[57]ANDERSON*et al.* 2010, pp. 255-275; MORTARA*et al.* 2014, pp. 318-325.

informazioni tra gli utenti, favorendo lo sviluppo di modelli collaborativi tra specialisti, aprendo a nuove sperimentazioni e forme di conoscenza. Alcuni sistemi sono indirizzati a specifiche fasce di età scolastiche e di apprendimento[58]; altri sono fruibili su dispositivi mobili, creando *tour* in contesti specifici, per presentare i luoghi e i beni culturali conservati[59].

Nel capitolo 6 l'attenzione sarà rivolta ai *serious games* fruibili in percorsi museali, con particolare attenzione alla realtà virtuale e allarealtà aumentata.

[58]http://www.playinghistory.eu; http://www.bbc.co.uk/schools/primaryhistory/romans; http://www.getty.edu/gettygames; http://www.mylearning.org/interactive.asp?journeyid=238&resourceid=587.

[59]http://totem.fit.fraunhofer.de/tidycity; http://194.119.209.212/monachello; https://play.google.com/store/apps/details?id=it.visitotuscany; https://itunes.apple.com/us/app/mayan-mysteries/id582762699?mt=8; https://play.google.com/store/apps/details?id=air.digimark.museumgame.

3.8 Comunicazione e *serious games* nei musei

La comunicazione in ambito museale[60] presenta problemi legati alla selezione e all'organizzazione espositiva degli oggetti, che devono trasmettere il valore semantico e altre informazioni, come il contesto di origine. I musei si differenziano per contenuto, ma sono accumunati dagli obiettivi di comunicare, attraverso più canali, il significato del bene culturale, del singolo oggetto, del gruppo di oggetti, del sito, del monumento, ecc., collegandoli al contesto di appartenenza. Le indicazioni sui cartellini o trasmesse dalle audioguide spesso non sono sufficienti ed è necessario usare il linguaggio delle immagini, integrato con contenuti verbali, per facilitare l'identificazione e l'interpretazione, associando concetti e idee. Inoltre, gli oggetti devono essere ordinati seguendo un ordine prestabilito, legato al tema, alla cronologia, allo stile e devono avere condizioni ambientali (spazio, illuminazione), che favoriscono la comprensione.

Il sistema deve facilitare la comprensione dell'oggetto e portare l'utente a compiere la visita, motivandolo e mantenendone viva l'attenzione. La motivazione non è solo un fattore individuale, ma è determinata da vari aspetti, come la comunicazione descrittiva (dove l'immagine accompagna l'oggetto reale per descriverlo) e la comunicazione narrativa (*storytelling*), dove si narrano storie. Nella drammatizzazione lo svolgimento narrativo avviene attraverso il dialogo e l'azione dei personaggi, come in rappresentazioni teatrali o cinematografiche, coinvolgendo maggiormente perché è più vicina alla realtà.

I *serious games* trovano applicazione nel campo dei musei virtuali, termine attribuito a più soluzioni espositive[61], come la presentazione virtuale di un monumento o di un sito, con la visualizzazione degli elementi di dettaglio, attraverso la navigazione nell'ambiente ricostruito, talvolta associata alla visita nel contesto reale, per facilitarne la lettura, l'interpretazione e per aggiungere informazioni[62]. In questa categoria rientrano anche le applicazioni su dispositivi mobili[63], usate nei siti archeologici o percorsi museali per aggiungere elementi alla visita, come nel caso della realtà aumentata, descritta in seguito. Il museo virtuale si riferisce anche ai musei nel *web*[64], dove il termine è usato impropriamente perché l'esposizione non è reale, cambiando completamente la percezione.

Sono strumenti comunicativi, utili a semplificare la lettura dei beni esposti, prima o dopo la visita, favorendone la comprensione. Il museo virtuale, in altri casi, è il sito *web* del museo reale, in cui si espone completamente o parzialmente il contenuto, aggiungendo informazioni e fornendo strumenti

[60] ANTINUCCI 2014.
[61] ANTINUCCI 2014, pp. 155-160; PESCARIN 2014a, pp. 129-133.
[62] FORTE *et al.* 2003, pp. 529-532; PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29; FORTE, DANELON 2015, pp. 42-48.
[63] PIETRONI *et al.* 2011, pp. 561-567; KEIL *et al.* 2013, pp. 685-688.
[64] http://exhibitions.europeana.eu; http://omnesviae.org/it.

per nuove sperimentazioni[65]. Infine, il museo fisico con contenuti solo virtuali, vantaggioso perché la scala di percezione è vicina a quella reale[66].

Nel progetto europeo V-Must[67], dove si è cercato di definire il museo virtuale, la definizione non è strettamente legata alla forma, ma agli strumenti tecnologici, ai contenuti multimediali (modelli 3D, audio, video, ecc.) ed alle forme d'interazione e immersione, che consentono all'utente di vivere in prima persona l'esperienza di apprendimento, come se si trovasse realmente nell'ambiente virtuale. I *serious games* s'inseriscono in questo contesto con l'obiettivo non solo di valorizzare il bene culturale, ma anche il percorso tematico-espositivo.

Gli ambienti virtuali non hanno limiti comunicativi perché integrano qualsiasi tipo di contenuto e di dato, collegandoli tra loro, presentando elementi di dettaglio e rispettando le scale dimensionali, con schermi di varie dimensioni, proiezioni su parete, sul monumento o sulla struttura, grazie anche all'impiego di dispositivi mobili, che ampliano le soluzioni disponibili. Si deve garantire lo spazio necessario per la navigazione attraverso i movimenti del corpo, al fine di creare un'esperienza positiva. Il sistema è incentrato sulla comunicazione visiva, scegliendo interfacce interattive e immersive, per rendere la percezione naturale e istintiva. L'immersione corrisponde alla percezione fisica di essere in uno spazio virtuale e si ottiene mediante interfacce sensoriali che circondano il fruitore. L'interazione è la capacità dell'utente di modificare l'ambiente virtuale e ricevere una risposta, a seguito della sua azione (*feedback*). Il livello di percezione è strettamente relazionato alla tecnologia e ai contenuti impiegati, ma anche al modo d'interagire. Gli schemi, presentati di seguito (figg. 3.10 e 3.11)[68], riportano una classificazione dei dispositivi e delle tecnologie che favoriscono l'immersione e l'interazione.

Non tutte le strutture sono in grado di gestire sistemi tecnologici e alcuni problemi sono legati ai costi, alle necessità di spazio per l'immersione e l'interazione nell'ambiente virtuale. L'utente non sempre si sente a proprio agio, indossando supporti tecnologici, come gli occhiali; inoltre, si tratta soprattutto di sistemi individuali, che non favoriscono la condivisione e la socializzazione. Infine, qualche istituzione trova ancora difficile allinearsi con il nuovo linguaggio e le nuove forme di comunicazione tecnologica.

Nei paragrafi seguenti, si presentano alcune soluzioni applicate nel campo dei Beni Culturali e della comunicazione museale e sperimentate nel capitolo 6.

[65]http://www.virtualmuseumiraq.cnr.it/prehome.htm.
[66] http://www.museomav.it.
[67]Cfr. § 2.4; PESCARIN 2014a, pp. 129-133; PESCARIN 2014b.
[68]CARROZZINO, BERGAMASCO 2010, pp. 452-458.

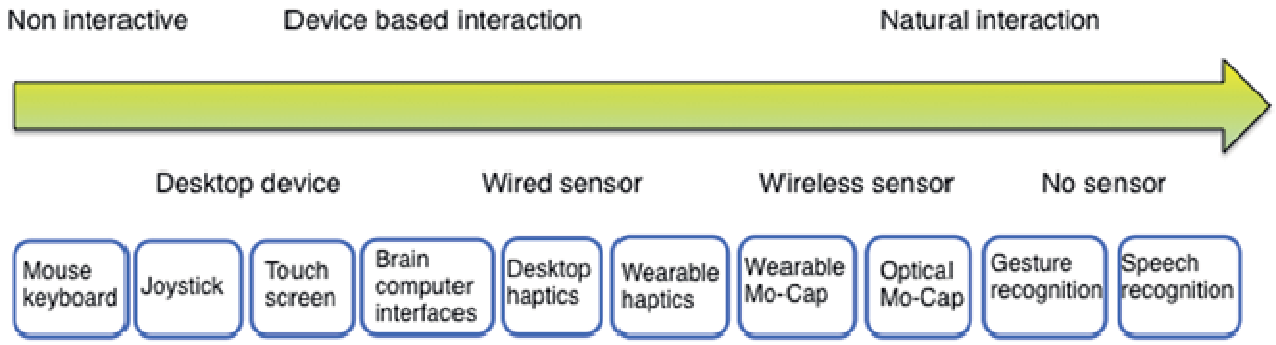


Figura 3.10. Classificazione delle tecnologie di realtà virtuale, associate al corrispondente livello d'interazione (CARROZZINO, BERGAMASCO 2010, pp. 452-458).

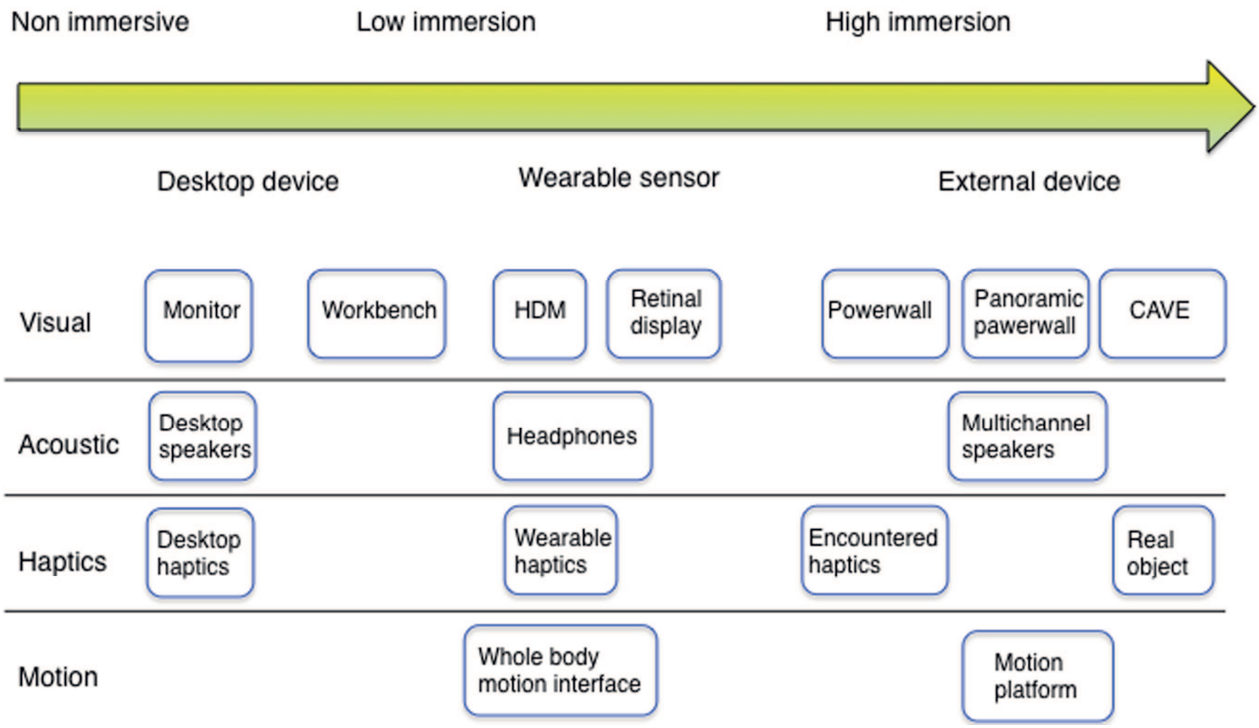


Figura 3.11. Classificazione delle tecnologie di realtà virtuale, associate al corrispondente livello d'immersione (CARROZZINO, BERGAMASCO 2010, pp. 452-458).

3.8.1 Realtà Virtuale

È ancora difficile individuare una definizione univoca di realtà virtuale, ma generalmente si fa riferimento ad un sistema complesso e dinamico, che sfrutta le tecnologie della *computer science*, della grafica 3D, della robotica, ecc., per elaborare un ambiente digitale, simile a quello reale, in cui si ricrea una dimensione spazio-temporale, percepita in modo simile alla realtà, attraverso l'immersione, l'interazione e la navigazione in tempo reale[69].

[69]CARROZZINO, BERGAMASCO 2010, pp. 452-458;FORTE 2014, pp. 113-127.

L'aspetto più importante è l'interazione dell'utente, il modo in cui percepisce l'esperienza e apprende il messaggio culturale, aspetti legati al *background* conoscitivo del pubblico. Per esempio, utenti diversi possono considerare più realistica o artificiale una stessa ricostruzione ambientale; inoltre nella percezione incidono anche la mobilità e la scala dimensionale. Il progresso tecnologico ha introdotto dispositivi multi-funzione e multi-utente, favorendo l'interazione e l'immersione del pubblico (figg. 3.10 e 3.11).

La realtà virtuale integra più tipi di contenuto ed è strutturata e presentata, in base agli obiettivi del campo di applicazione. Negli anni '90, era usata nei Beni Culturali per raffigurare in modo statico e non interattivo un oggetto reale. Oggi, invece, si mira soprattutto alla simulazione, dove non solo si propone una ricostruzione del passato, ma si crea un sistema immersivo e interattivo, partendo da dati digitali ed elaborando un'interpretazione scientifica-filologica dell'ambiente storico.

Il messaggio comunicativo è avvalorato e facilmente compreso, presentando le fonti di riferimento, i livelli interpretativi e le ipotesi. Altro fattore determinante è la visualizzazione di un dato realistico, accurato e preciso, ottenuto con tecniche *reality-based*[70]. Le interfacce d'interazione consentono d'interrogare il sistema, di navigarlo e visualizzare gli elementi da più punti di vista, mentre le tecniche di *storytelling* coinvolgono il pubblico, che diventa protagonista, impegnandolo nella ricerca delle informazioni e permettendogli di condividere la propria esperienza, grazie a sistemi di archeologia teleimmersiva (*teleimmersive archaeology*), che proiettano la figura di più utenti, collocati in posti diversi, su un comune ambiente virtuale, creando uno spazio collaborativo e d'interazione con il bene culturale per ricerca, insegnamento ed educazione[71].

La realtà virtuale è usata nel campo dei Beni Culturali e delle esposizioni museali con finalità legate alla conservazione e al restauro, fornendo gli strumenti per ricostruire gli artefatti antichi o opere artistiche e ambientazioni storiche, distrutti o danneggiati dal tempo. Inoltre, guida le procedure di restauro ed è utile in fase di pianificazione, per sperimentare le soluzioni, da applicare sull'oggetto, senza danneggiarlo. L'integrazione di tecnologie sensoriali, d'immagini, suoni e altro ancora facilita la comprensione dei contenuti, anche da parte di un pubblico ampio ed eterogeneo. Si creano nuovi dati, generati dai modelli e dai metadati, ma anche dagli strumenti di collaborazione e condivisione, di cui l'utente è il primo protagonista e giocatore. All'interno di un museo, per interagire con il sistema e creare un'esperienza emozionale di apprendimento, è necessario avere lo spazio disponibile per la mobilità del corpo, creando condizioni favorevoli all'immersione. Inoltre, la tecnologia deve essere di facile utilizzo, intuitiva e il messaggio deve essere immediatamente decodificato e compreso.

[70]Cfr. § 3.1.
[71]PESCARIN 2009, pp. 109-110; FORTE 2014, pp. 113-127.

Il rapido sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha migliorato le prestazioni *hardware* e grafiche e introdotto nuove forme e sistemi per presentare gli ambienti di realtà virtuale e nuove interfacce-utente per l'interazione e l'immersione[72].

Le soluzioni basate su un approccio non interattivo propongono video o proiezioni, elaborati con tecniche di animazione, che presentano contenuti narrativi e comunicativi. La voce del narratore è associata alle immagini e all'audio, scegliendo un linguaggio di facile comprensione[73]. In altri casi, il narratore non è solo una voce narrante, ma un personaggio reale, fantastico o ispirato dalla documentazione archeologica, che accompagna il visitatore nel suo percorso[74]. In fase di realizzazione, vi deve essere una stretta collaborazione e confronto tra regista, sceneggiatore e archeologo o storico. Le migliori prestazioni di *rendering* aumentano il livello qualitativo del filmato, avvicinandolo alle sceneggiature cinematografiche.

In ambito museale, si deve prestare attenzione all'organizzazione dei contenuti, integrando sequenze video con immagini di paesaggi reali, cartografia storica, disegni, ricostruzioni grafiche 3D, effetti digitali e personaggi. In un punto di passaggio, dove si rimane in piedi durante la visione, i filmati non devono durare più di 2-3 minuti e il contenuto deve focalizzarsi su una tematica collegata a quanto esposto nelle immediate vicinanze. Al termine della visita o in teatri virtuali, inseriti all'interno del percorso, dove il pubblico è comodamente seduto, la durata è generalmente compresa tra i 10 e i 15 minuti. Le sequenze devono includere approfondimenti e spiegazioni, altrimenti il messaggio non è completo e pone dei limiti nella comunicazione, legati alla mancanza d'interazione. Non è opportuno usare il video come unico canale informativo, ma è preferibile integrarlo con altri elementi o focalizzarlo su un particolare aspetto.

Le soluzioni basate su un approccio interattivo e altamente immersivo[75] gestiscono i dati in un motore di grafica o gioco (*game engine*)[76], che costituisce il *software* di base, dotato degli strumenti per sviluppare e programmare la struttura dell'ambiente virtuale o videogioco, oltre che di funzioni di *rendering* che elaborano immagini dei modelli 3D, definendone ombre, illuminazione, ecc. L'intelligenza artificiale permette di animare i personaggi virtuali e di usarli per interagire con l'ambiente ricostruito; l'animazione è riferita agli oggetti per le trasformazioni o le deformazioni; la fisica determina interazioni realistiche tra gli elementi e il contesto; la cinematica integra video all'interno del gioco, per catturare l'attenzione dell'utente.

L'accesso alla rete consente la condivisione, mentre la gestione delle risorse è fondamentale per determinare l'uso efficiente dell'*hardware* (CPU, scheda grafica, memoria, ecc.) e il tempo di

[72]https://www.oculus.com/en-us.
[73] http://www.palazzovalentini.it.
[74]GUIDAZZOLI*et al.* 2014, pp. 1-4.
[75]PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29;https://vimeo.com/129867454; GONIZZI BARSANTI*et al.* 2015, pp. 165-172.
[76]ANDERSON*et al.* 2010, pp. 255-275; NAVARRO*et al.* 2012, pp. 143-158.

caricamento di un ambiente, in base ai contenuti (animazioni, ombre, oggetti 3D, suoni, ecc.). Alcuni motori di grafica integrano *geodata* e si distinguono tra soluzioni commerciali e *open source*, oltre che per la gestione di contenuti 2D, 2.5D e 3D[77].

Nel capitolo 6, saranno presentati alcuni casi applicativi di realtà virtuale, ponendo attenzione all'approccio metodologico, per la ricostruzione di un ipotetico paesaggio e contesto storico.

3.8.2 Sistemi basati su interazione naturale

S'interagisce con la realtà virtuale (fig. 3.10), attraverso dispositivi (*device-based interaction*), come mouse, *joystick*, tastiere, *touch-screen*, ecc., non immediatamente compresi dagli utenti che non li usano abitualmente, oppure tecnologie basate su interazione naturale (*natural interaction*), dove i sensori monitorano e rilevano i gestia mezz'aria (*mid-air gesture*), espressivi e ricchi di significato (movimenti fisici delle dita, mani, braccia, viso o corpo), e l'acustica (comandi vocali), poi trasmessi ad apposite applicazioni, che li elaborano per l'interazione con i contenuti informativi o gli ambienti virtuali[78].

Le prime sperimentazioni[79] sui Beni Culturali, si collocano agli inizi del 2000, ma la maggiore diffusione, si ha dal 2010, con l'inserimento nel mercato internazionale dei videogiochi di MicrosoftKinect[80], poi modificato per essere collegato direttamente ad un *computer*. Si tratta di un sensore a basso costo, dotato di una videocamera RGB, un doppio sensore di profondità a raggi infrarossi, costituito da uno *scanner laser* IR e da una telecamera sensibile alla stessa banda. Inoltre, una serie di microfoni, usati per la calibrazione dell'ambiente circostante, analizzano la riflessione del suono sugli elementi, per eliminare il rumore di fondo e riconoscere correttamente i comandi vocali. Il dispositivo rileva i movimenti dell'intero corpo o solo di una parte, per l'interazione con l'ambiente virtuale su schermi o proiezioni, favorendo la rappresentazione della scala dimensionale dell'ambiente reale e la totale immersione (fig. 3.12 a).

Un altro sensore *low cost* è Leap Motion Controller[81], progettato per essere collegato direttamente allo schermo di un *computer* e costituito da una piccola periferica USB che controlla un'area approssimativamente emisferica, tramite 2 telecamere monocromatiche IR e 3 LED infrarossi, arrivando alla distanza di 1 m (fig. 3.12 b). Il sensore monitora e rileva i movimenti delle dita o oggetti simili, come una penna, con la precisione di 0,01 mm, per interagire con l'ambiente virtuale

[77] Cfr. nota 50 e https://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine.
[78] RICHARDS-RISSETTO*et al.* 2012, pp. 118-130; PESCARIN *et al.* 2013, pp. 355-362; PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29; GONIZZI BARSANTI*et al.* 2015, pp. 165-172.
[79] ALISI*et al.* 2005, pp. 80-85.
[80] https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows.
[81] https://www.leapmotion.com.

o sistemi di *spatial augmented reality*, dove si aggiungono informazioni agli oggetti reali, senza l'uso intermedio di uno schermo[82].

In un museo, l'interazione naturale determina una maggiore immersione dell'utente nell'ambiente virtuale, favorendo la percezione del bene culturale, attraverso la consapevolezza dei movimenti impiegati per la navigazione nello spazio dimensionale. I gesti (*gesture*), usati per l'interazione, presentano alcune limitazioni, legate alla diversità nella gestualità naturale[83]; inoltre, le scelte devono adattarsi al contesto espositivo e culturale e richiedono l'uso di un linguaggio d'immediata comprensione[84].

Microsoft[85] ha distinto tra movimenti innati e appresi e suggerisce di considerare alcuni aspetti, tra cui la parte del corpo con la quale s'interagisce, l'altezza degli utenti e la diversità dei movimenti tra bambini e adulti.

Il *feedback* del pubblico è influenzato da fattori, come la semplicità di utilizzo, la corretta corrispondenza tra i movimenti e le azioni eseguite sullo schermo, lo spazio disposto per la mobilità, il rumore e le interferenze, lo *stress* fisco, il sentirsi a proprio agio nei movimenti.

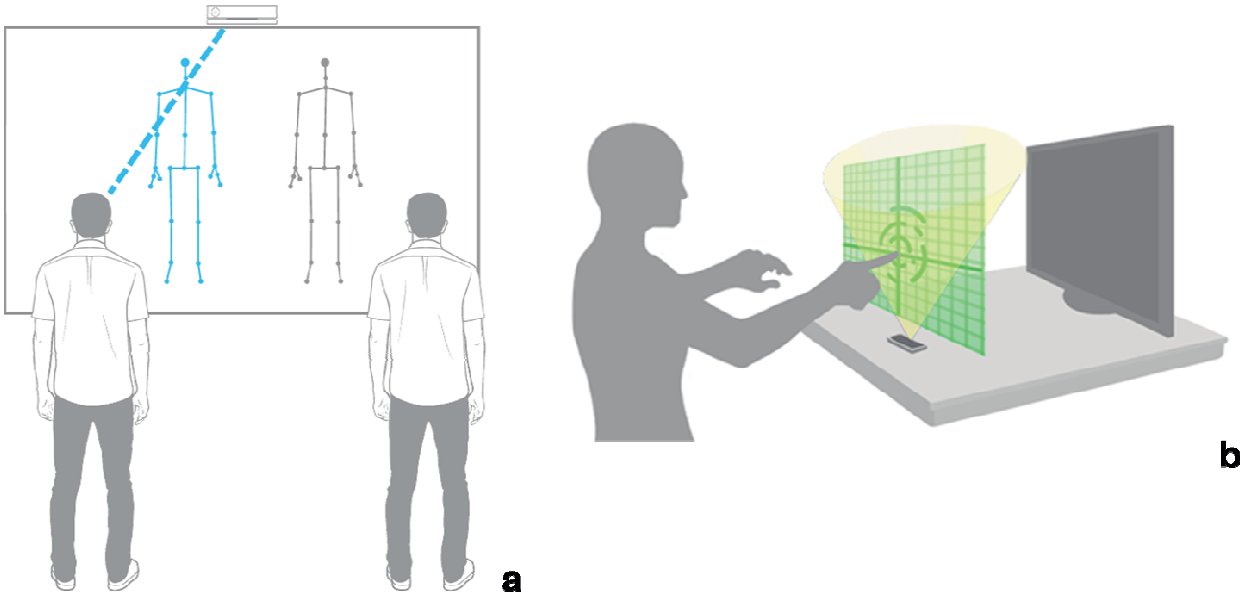


Figura 3.12. Esempi di sistemi basati su interazione naturale. a) Microsoft Kinect è un sensore multi-utente e rileva i movimenti di tutto il corpo (MICROSOFT 2014); b) Leap Motion Controller acquisisce i movimenti delle mani e delle singole dita, in uno spazio di 1 m^2, con la precisione di 0,01 mm (http://www.hanselman.com/blog/LeapMotionAmazingRevolutionaryUseless.aspx).

[82]PESCARIN 2014b, p. 178-180; RIDEL*et al* 2014, pp. 1-18.
[83]KITA 2009, pp. 145-167.
[84]PESCARIN *et al.* 2013, pp. 355-362.
[85]MICROSOFT 2014.

Le tecnologie spesso impongono dei vincoli, che causano altri problemi nella configurazione di gesti naturali; ad esempio, lo spazio di agibilità di Microsoft Kinect è compreso tra 0.8 e 3.5 m e per Leap Motion Controller è di 1 m.

Le scelte espositive non riguardano solo gli aspetti tecnici, ma anche il *background* conoscitivo del pubblico, la percezione del movimento nell'ambiente virtuale, il livello d'immersione, la partecipazione sensoriale, la capacità di selezionare gli oggetti e di compiere azioni metaforiche, che simulano quelle reali, il modo in cui sono presentati e relazionati i contenuti, l'uso di tecniche di *storytelling*, il tempo di durata, la motivazione e i *feedback* dell'ambiente virtuale.

S'interagisce con più livelli, combinando diverse esperienze sensoriali, che favoriscono il processo educativo e di apprendimento, avvalorati dai contenuti e dalla loro organizzazione[86]. Il sistema è adatto anche agli utenti che non hanno dimestichezza con i tradizionali *device based interaction* o con limitazioni fisiche[87], scegliendo di monitorare o i movimenti della parte superiore del corpo o dell'intera figura. È disponibile l'interazione multi-utente, come nel caso di Microsoft Kinect che può gestire fino a 6 giocatori.

Lo stato dell'arte presenta alcune applicazioni ancora pioneristiche nel campo dei Beni Culturali, distinte tra esposizioni temporanee[88], permanenti[89] e sperimentazioni[90].

Quanto descritto è focalizzato sull'interazione con complessi ambienti virtuali, ma il sistema è usato anche per la visualizzazione e manipolazione di singoli oggetti (*object manipulation*)[91], estrapolati virtualmente dalla ricostruzione simulata del contesto di appartenenza. L'obiettivo è l'analisi dettagliata del modello, attraverso le tradizionali operazioni di selezione, ingrandimento, movimenti sui 3 assi di rotazione e spostamento, non più eseguiti con *mouse* o tastiera, ma con gestualità naturale.

Nel capitolo 6, si presenta il progetto di un sistema d'interazione naturale, da cui estrapolare un oggetto singolo per la visualizzazione, partendo da un ambiente virtuale simulato.

3.8.3 Realtà Aumentata

La realtà aumentata (*Augmented Reality*, AR) è un sistema interattivo e fruibile in tempo reale, che permette di visualizzare contemporaneamente elementi del mondo reale e informazioni digitali, precedentemente allineati e configurati tra loro[92]. Si applica a contenuti visualizzabili (immagini,

[86]HSU 2011, pp. 365-370.
[87]CREED*et al.* 2013, pp. 1-6.
[88]Per il progetto *Aquae Patavinae*, vd. § 2.3.3; PESCARIN 2014b, p. 178-180, 185-188, 189-191.
[89]PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29; https://vimeo.com/129867454.
[90]GONIZZI BARSANTI*et al.* 2015, pp. 165-172.
[91]PIETRONI, ADAMI 2014, pp. 9:1-9:29.
[92]AZUMA*et al.* 2001, pp. 34-47; ANDERSON*et al.* 2010, pp. 255-275.

testi, video, modelli 3D, collegamenti *web* o a *social network*, ecc.), audio, tattili e olfattivi, aggiunti alla scena reale, creando un'esperienza immersiva, dove l'utente è protagonista, attraverso l'interazione con un dispositivo.

La realtà aumentata usa i contenuti della realtà virtuale, aggiungendoli alla scena reale e differenziandosi secondo lo schema adattato da Milgram[93] (figg. 3.13 a, b, c, d), che distingue tra ambiente reale (*real environment*), realtà aumentata (*augmented reality*), virtualità aumentata (*augmented virtuality*), riferita ad un contesto virtuale dove si aggiungono elementi reali (video o *texture map*), realtà virtuale (*virtual environment*) e realtà mista (*mixed reality*), in cui attraverso un *display*, oggetti fisici e virtuali coesistono nello stesso ambiente in tempo reale.

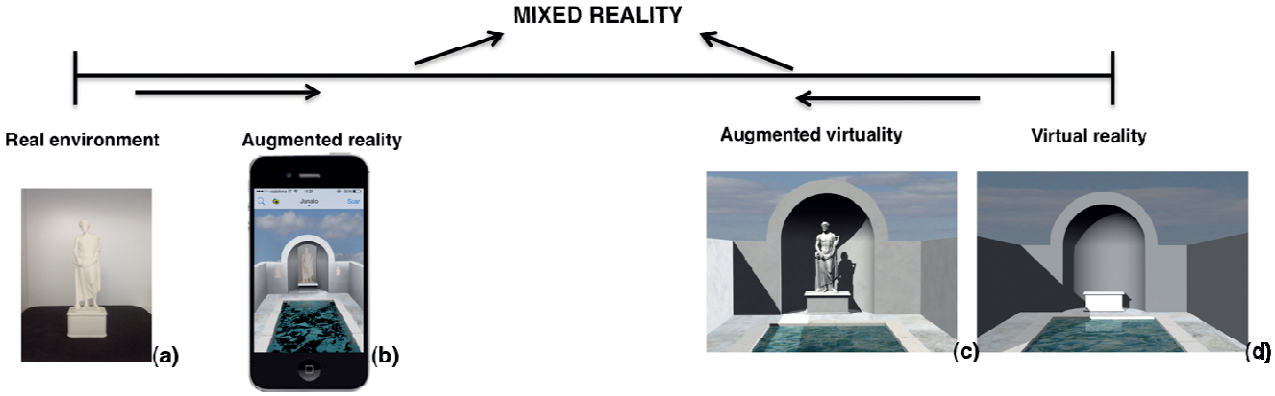


*Figura 3.13. Schema adattato da Milgram (*MILGRAM et al. *1994, pp. 282-292), presentando uno dei casi applicativi, trattato nel capitolo 6. a) ambiente reale; b) realtà aumentata; c) virtualità aumentata; d) realtà virtuale.*

L'approccio tecnico e *hardware* determina diverse categorie di AR, relazionate al dispositivo o *display*[94]: i *near-eye display* o *head-worn display* sono indossati dall'utente come nel caso di occhiali (es. Google Glass ed Epson Moverio BT-200)[95], gli *hand-held display* sono montati su dispositivi mobili, che gestiscono acquisizioni di video e immagini e i *projection display*, dove il contenuto virtuale è proiettato direttamente sull'oggetto fisico, aggiungendo informazioni e determinando un'applicazione definita *spatialaugmented reality*[96].

Le applicazioni fruibili in ambienti interni si basano sulla visualizzazione di elementi o *marker* (*vision based AR*), precedentemente configurati nel sistema, cui si associano contenuti digitali, stabilizzati dal perdurare delle condizioni ambientali. All'esterno, dove i cambiamenti sono continui, si scelgono sistemi basati sul riconoscimento della posizione, mediante un GPS integrato

[93]MILGRAM *et al.* 1994, pp. 282-292.
[94]AZUMA*et al.* 2001, pp. 34-47.
[95]http://www.google.com/glass/start; https://www.epson.it/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/12411.
[96]RIDEL*et al* 2014, pp. 1-18.

nel dispositivo. I sistemi basati sulla visualizzazione, oltre ai *marker* (immagini 2D, generalmente quadrati in bianco e in nero), usano anche elementi fisici 2D (*markerlesstracking/natural feature tracking*), come immagini e *poster*, e oggetti fisici 3D (*markerless 3D tracking)* configurati mediante il modello CAD dell'oggetto.

I contenuti sono gestiti all'interno di un *server* o *cloud server* e più raramente nel dispositivo stesso. I collegamenti avvengono tramite rete *wireless*, quando le applicazioni sono sviluppate per un particolare percorso[97], o *web* (AR *browser*) nel caso di applicativi multi-piattaforma[98].

Le applicazioni fruibili su installazioni espositive usano sistemi costituiti da *monitor* e *webcam,* cheinquadrano dei *marker* su cui caricare i contenuti[99], oppure la sagoma del volto o del corpo delle persone, associando i dati direttamente all'utente[100]. In altri casi, si hanno proiezioni (*spatial augmented reality)*[101] direttamente sull'oggetto d'interesse, come accennato in precedenza.

La configurazione restituisce il corretto allineamento tra gli elementi della scena reale e virtuale e si ottiene attraverso procedure, che si differenziano per l'approccio di programmazione ed il riferimento fisico. Nel primo caso, si sceglie tra lo sviluppo in ambienti *Software DevelopmentKit* (SDK)[102] o *software*[103], dove è già impostato il *workflow*. I riferimenti fisici sono approfonditi nel capitolo 6, con sperimentazioni basate sul riconoscimento d'immagini 2D e oggetti fisici 3D.

I problemi di visualizzazione sono legati alla cattiva sincronizzazione, dovuta ad errori nel calcolo della posizione di un oggetto nell'ambiente, o alla mancanza di accuratezza nelle misure. Il dispositivo deve gestire i dati, consentendo la fruizione in tempo reale ed eliminando eventuali ritardi nella risposta, talvolta causati dalla scarsa copertura di rete; inoltre, si deve eseguire correttamente il *rendering*, caricando gli elementi della scena.

Altri problemi sono legati all'approccio tecnologico, poiché usando dispositivi mobili per caricare contenuti 3D su *marker* 2D, vi sono dei limiti nella visualizzazione e interazione con l'oggetto[104].

In archeologia, la realtà aumentata è utile per lo studio e l'analisi dei reperti, perché consente d'interagire con i modelli digitali nel contesto reale, con una procedura non distruttiva ed esaminando dettagliatamente gli oggetti (il dettaglio dipende dalla qualità del modello 3D), senza danneggiarli o alterarli. Inoltre, i dati possono essere condivisi tra ricercatori per indagare simultaneamente lo stesso oggetto, favorendo la collaborazione, la condivisione delle informazioni

[97] KEIL*et al*. 2013, pp. 685-688.
[98] https://my.metaio.com/dev/junaio/index.html; http://www.wikitude.com/app.
[99] WOJCIECHOWSKI*et al.* 2004, pp. 135-145.
[100] https://my.metaio.com/dev/creator/tutorials/face-tracking/index.html.
[101] RIDEL*et al.* 2014, pp. 1-18.
[102] http://www.hitl.washington.edu/artoolkit;https://my.metaio.com/dev.
[103] https://my.metaio.com/dev/creator/index.html; http://studio.wikitude.com.
[104] Cfr. § 6.2.2, 6.2.3.

e lo sviluppo della ricerca[105].

In ambito espositivo, l'AR è impiegata sin dagli inizi del 2000, come guida per l'arricchimento dei percorsi storico-archeologici e museali, mediante l'uso di palmari e talvolta dispositivi poco maneggevoli[106]. Negli ultimi anni, l'ampia diffusione di *smartphone* e *tablet* ha determinato lo sviluppo di nuove soluzioni, d'uso immediato, perché basate su tecnologie impiegate quotidianamente. I casi applicativi sono numerosi e riguardano la creazione di guide, nei percorsi museali, nei siti storici ed archeologici, per presentare informazioni sul contenuto semantico ed il contesto di origine, utile soprattutto nei musei, dove gli oggetti sono spesso decontestualizzati. Si creano collegamenti virtuali con altri beni della stessa esposizione o collezione, ma non esposti per mancanza di spazio, oppure si presentano relazioni con raccolte esterne alla struttura. Si mostrano le proposte di restauro e le ricostruzioni virtuali applicabili anche sui monumenti e sulle strutture archeologiche, arricchendo l'esperienza dei visitatori e trasmettendo contenuti educativi, con il supporto di strumenti d'intrattenimento, come i simulatori di gioco.

In questo modo, cambia la percezione di un oggetto esposto, focalizzando immediatamente l'attenzione sui contenuti di maggiore importanza e creando relazioni anche tra elementi molto lontani, per valutarne le proprietà fisiche, le caratteristiche stilistiche, ecc. e verificando subito il *feedback.* Il percorso è personalizzabile dall'utente e scelto in relazione al *background* personale, selezionando le tematiche da sviluppare e quali contenuti approfondire. Alcune applicazioni[107] integrano strumenti per scegliere questi aspetti, in base alla fascia di età dell'utente; inoltre le vicende storiche dei beni sono descritte in prima persona con tecniche di *storytelling*, come se fossero narrate direttamente dagli oggetti, avvalorando il messaggio comunicativo ed educativo.

L'approccio basato su *storytelling* è ottenuto anche aggiungendo alla realtà dei personaggi storici digitalizzati, talvolta inseriti tramite dei video, che permettono di rivivere momenti storici, legati all'ambiente reale in cui ci si trova[108].

Nei percorsi museali, si creano esperienze uniche, dove i contenuti sono caricati e associati direttamente all'utente, tramite l'accostamento ai *marker* per simulare il contatto diretto con il bene culturale e acquisire un'immagine, che aiuti a ricordare il momento e a condividerlo, sviluppando interazioni, confronti, esperienze emozionali e socio-educative, favorendo l'apprendimento collettivo e rispondendo alle nuove richieste sociali[109].

La realtà aumentata si pone come collegamento tra il mondo reale e digitale, compresi grazie al

[105] JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-PALACIOS *et al*. 2014, pp. 250-262.
[106] VASSILIOS *et al.* 2002, pp. 52-60.
[107] KEIL *et al*. 2013, pp. 685-688.
[108] PAPAGIANNAKIS *et al.* 2005, pp. 11-24; http://www.museumoflondon.org.uk/Resources/app/Streetmuseum-Londinium/home.html.
[109] THIAN 2012.

contributoreciproco. Si applica anche ai libri[110], aggiungendo contenuti virtuali (*pop-up book),* che creano nuove esperienze educative e aprono nuovi scenari di *storytelling*, aggiungendo immagini e personaggi narranti, per favorire un maggiore coinvolgimento dell'utente.

Nel capitolo 6 sono trattate alcune sperimentazioni, che seguono le procedure descritte e propongono un nuovoapproccio, focalizzato sull'integrazione di contenuti, all'interno di sistemi mobili di realtà aumentata.

[110]GRASSET*et al.* 2008, pp. 292-295; YUEN*et al.* 2011, pp. 119-140.

CAPITOLO 4

La digitalizzazione 3D dei beni mobili

La digitalizzazione 3D dei beni mobili, rinvenuti nell'area euganea, ma non conservati in loco, ha previsto l'applicazione di differenti tecniche e di nuove soluzioni tecnologiche.
Il rilievo è stato eseguito con tecniche *reality-based*, scegliendo la metodologia in rapporto agli obiettivi, alle caratteristiche del manufatto, del contesto ambientale e adattando le procedure al caso specifico. Si è elaborato per ciascun reperto un modello 3D con *texture* che simula l'oggetto reale e si sono sperimentate più modalità di *rendering* per favorire la comprensione, ad esempio delle iscrizioni, realizzate con tecniche irregolari o conservate in cattivo stato.
L'approccio ha restituito un dato interoperabile e integrabile in altri sistemi, fornendo strumenti utili per lo studio dei dati e l'inserimento in sistemi di valorizzazione, trattati nel capitolo 6.

4.1 Il rilievo 3D della statua maschile in marmo bianco

La statua maschile in marmo, presentata nel capitolo 2, è conservata ed esposta presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia e l'obiettivo del rilievo 3D è ottenere una copia digitale oggettiva del reperto, che includa anche la base moderna aggiunta dopo la donazione, e che restituisca dettagliatamente la morfologia superficiale. La parte lavorata in antico presenta dettagli millimetrici, ma sono presenti micro-variazioni geometriche dovute alle proprietà chimico-fisiche dell'ambiente di conservazione. Si vuole, quindi, ottenere un modello con risoluzione almeno millimetrica, per restituire i dettagli geometrici della statua, evitando, però, di acquisire un'enorme mole di dati, difficile da gestire sui dispositivi mobili per la visualizzazione in realtà virtuale[1]. Inoltre, con l'associazione di *texture* al dato geometrico, oltre ad osservare le caratteristiche cromatiche della superficie, valutare la grana del marmo e la rugosità, si possono selezionare le aree interessate dalle micro-variazioni, dovute all'azione degli agenti ambientali, per ricavarne misure e svolgere una prima analisi, utile a pianificare interventi di restauro.

L'approccio consente di documentare il bene culturale, registrando e valutando così lo stato di conservazione; inoltre sono forniti nuovi strumenti di visualizzazione, che consentono di apprezzare le parti non esposte nel percorso museale, ampliando le possibilità di ricerca storico-archeologica, con considerazioni sulle tecniche di realizzazione e l'originario contesto di appartenenza, in relazione alla funzione del bene nel periodo antico. Successivamente, le informazioni saranno presentate al pubblico, all'interno di contesti di valorizzazione. Il lavoro è stato inserito nel percorso "..*Acqua immutabile e antica*.." allestito presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia dal 3 maggio 2015 al 31 ottobre 2015, all'interno del programma espositivo *Venice to Expo 2015*[2] ed il passo successivo sarà la restituzione del monumento al territorio di provenienza, con la ricontestualizzazione nel Museo del Termalismo, usando ilmodello digitale.

Infine, si sono condotte sperimentazioni con sistemi di realtà aumentata[3], integrando contenuti informativi nelle nuove tecnologie, che favoriscono l'apprendimento e intrattengono il pubblico durante la visita nel percorso museale.

[1] Vd. § 6.1.2.
[2] http://www.venicetoexpo2015.org/progetto/acqua-immutabile-e-antica.
[3] Vd. § 6.1.3.



Figura 4.1. Statua maschile in marmo bianco, conservata presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia.

4.1.1 Scelte metodologiche e pianificazione

Considerando gli obiettivi del rilievo e quanto presentato nei capitoli 2 e 3, si è proceduto all'acquisizione con tecniche *reality-based*, per restituire un modello 3D poligonale accurato e preciso, escludendo il contatto con la superficie. Nella scelta metodologica e dei sensori hanno inciso anche altri fattori, come le caratteristiche e le dimensioni dell'oggetto, la scala di rappresentazione, le proprietà del materiale, la morfologia della superficie e le caratteristiche ambientali, tra cui l'illuminazione e la posizione.

La statua è alta 2,504 m, considerando anche la base moderna (altezza 0,522 m × larghezza 0,885 m × profondità 0,635 m), mentre il solo reperto ha un'altezza di 1,982 m, larghezza di 0,610 m e profondità di 0,426 m (fig. 4.1). Valutando questi aspetti ed esaminata la tipologia del manufatto, si è mirato ad una rappresentazione in scala 1:1, fondamentale per soddisfare gli obiettivi del rilievo, restituendo i dettagli della superficie.

Le notevoli dimensioni del reperto, la sua collocazione a ridosso di una parete, dalla quale dista in media 0,50 m, limitando di molto la mobilità strumentale necessaria in fase di rilievo e le

caratteristiche ambientali, hanno suggerito l'integrazione di sensori attivi e passivi[4] (figg. 4.2 e 4.3). Si è usato il *laser scanner*a triangolazione otticaKonica Minolta VI-910, utile per restituire un riferimento metrico e acquisire complesse forme geometriche, presenti nelle parti frontale e laterale della statua, ed una procedura semi-automatica per l'elaborazione d'immagini, basata sull'automatizzazione dei processi, che la *Computer Vision* ha introdotto in fotogrammetria[5]. Quest'ultima ha una diversa mobilità strumentale e ha esteso la copertura spaziale del rilievo anche alle parti non raggiungibili con lo *scanner* 3D, oltre a restituire il dato radiometrico, che il sensore registra con bassa qualità (fotogrammi 640×480×24 bit), per ottenere un modello geometrico corretto, completo e realistico, adatto alla visualizzazione.

La statua è in marmo, materiale che generalmente crea problemi ai sensori ottici, per le sue proprietà fisiche, legate alla struttura micro-cristallina, non omogenea e traslucida, favorendo la penetrazione del raggio all'interno dello strato superficiale, per poi retrodiffonderlo internamente, rendendo difficile la registrazione e causando errori geometrici nella misura della superficie (in letteratura viene definito come un materiale "poco collaborativo" dal punto di vista dell'ottica geometrica)[6]. Il marmo del reperto esaminato, però, è stato interamente opacizzato dagli agenti chimico-fisici dell'ambiente di conservazione e, quindi, non ha ostacolato l'acquisizione con strumenti ottici. Di seguito, si descrive la procedura di ciascuna tecnica, mentre la loro integrazione, utile per restituire l'intera superficie, rilevare dati ridondanti, ottimizzare l'accuratezza e individuare errori di misura, è trattata nel capitolo 6, insieme ai *metadata* e *paradata*.

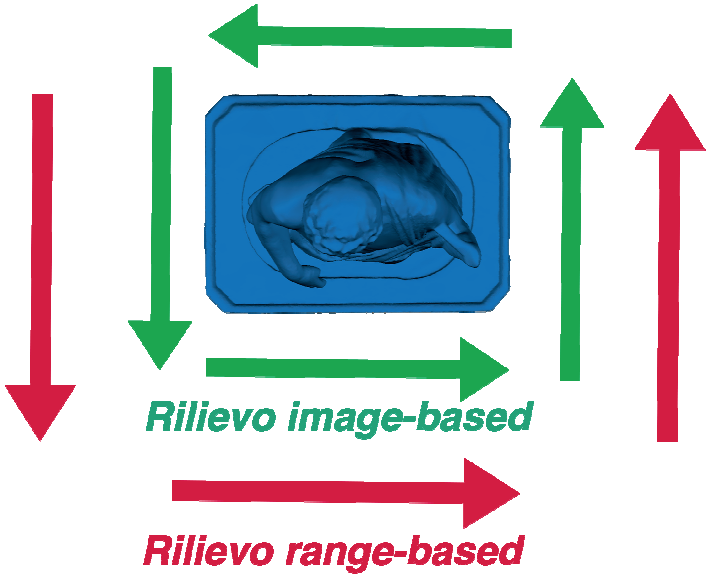


Figura 4.2. Statua maschile in marmo bianco. Distinzione tra le parti rilevate con tecnica range-based *e* image-based.

[4]Cfr. § 3.4.
[5]Cfr. § 3.2.2 e 3.3.1.
[6]GODIN*et al.* 2001, pp. 49-56.

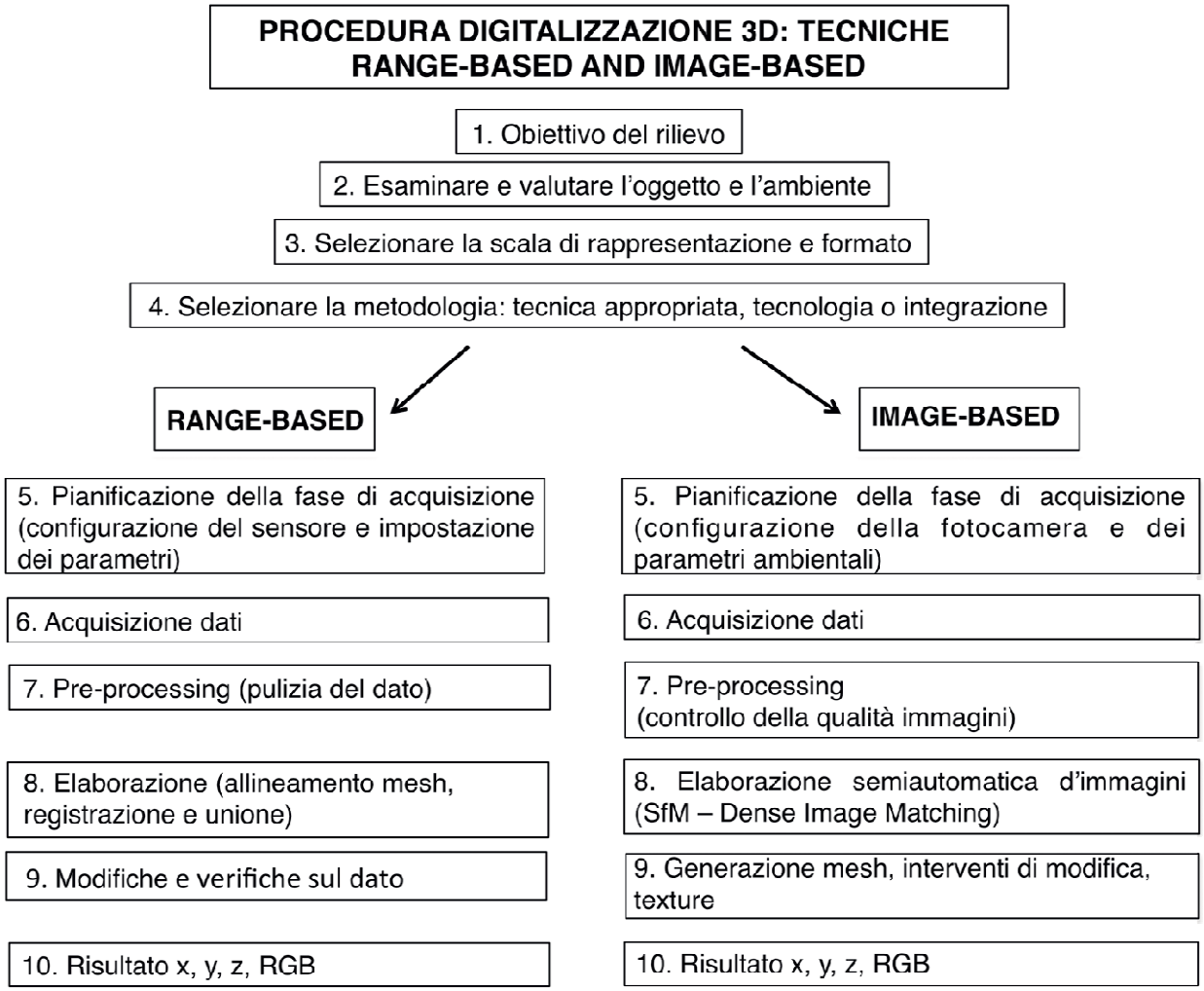


Figura 4.3. Schema procedurale delle tecniche di rilievo range-basede image-based.

4.1.2 Rilievo range-based

Il primo approccio ha riguardato l'acquisizione con *laser scanner* a triangolazione ottica Konica Minolta VI-910[7], di cui si descrivono i dati tecnici e i parametri impostati per il caso applicativo (tab. 4.1).

Modello	*Non-contact 3D digitizer*, Konica Minolta VI-910
Metodo di misura	*Triangulation light block method*
Baseline	250 mm
Lente ricevente la luce	*WIDE focal distance* f= 8 mm
Distanza media sensore-superficie	800 - 1000 mm
Range map	640 × 480
Totale scansioni	56
Risoluzione nominale	0,2 mm
Accuratezza nominale	X ± 0.22 mm; Y ± 0.16 mm; Z: ± 0.10 mm *to the* Z *reference plane*
Formati di esportazione	*3D data: Konica Minolta format* *Color data: RGB 24-bit raster scan data*

Tabella 4.1. Scheda tecnica del Konica Minolta VI-910 e dati sul caso applicativo.

L'acquisizione si è svolta in una sala espositiva del Museo Archeologico Nazionale di Venezia, illuminata naturalmente da due grandi aperture rivolte a nord-ovest. Le condizioni metereologiche erano stabili e soleggiate e le piccole variazioni d'illuminazione non hanno influenzato il rilievo. Il sistema strumentale, oltre che dallo *scanner* era costituito da un *computer* portatile, con installato il *software* Polygon Editing Tool (PET, Konica Minolta) per gestire il rilievo (figg. 4.4 a, b e 4.5).
Si è usata la lente WIDE, con distanza focale di 8 mm[8], mantenendo una distanza sensore-superficie, compresa tra 800-1000 mm e inquadrando un'area sufficientemente ampia da procedere in modo speditivo. Si sono acquisite 56 scansioni, in un arco temporale di circa 5 ore, lavorando su strisciate verticali (1 frontale, 2 sul lato destro e 2 sul lato sinistro) e orizzontali, distribuite omogeneamente. La base moderna è stata parzialmente rilevata in questa prima fase, per poi essere acquisita in modo più preciso, con lo strumento posto sul piano pavimentale. La sovrapposizione media tra le scansioni è del 50%, con maggiore copertura nella parte frontale e nelle zone geometricamente più complesse, poiché dati ridondanti restituiscono minori errori di misura.
Il fascio di luce *laser* è riflesso dalla superficie e acquisito da un sensore *Charge-Coupled Device* (CCD), che registra i dati geometrici e radiometrici *x, y, z RGB*, dove per ogni punto, *x* e *y* corrispondono ai valori sul piano di ripresa, cui si associa la distanza *z* tra il sensore e la superficie da rilevare. I dati radiometrici, acquisiti dallo stesso supporto, hanno la medesima risoluzione delle *range map*(tab. 4.1), con fotogrammi di 640×480×24 bit. Le *texture*, associate alle singole

[7]http://www.konicaminolta.it.
[8]Lo strumento è dotato di 3 lenti intercambiabili: TELE (*f*:25 mm), MIDDLE (*f*:14 mm) e WIDE (*f*:8 mm).

scansioni, sono utili soprattutto in fase di allineamento, perché favoriscono il riconoscimento di punti omologhi[9] (figg. 4.7 a e b), nel caso di variazioni geometriche non significative, ma non sono adatte alla visualizzazione, a causa della bassa qualità.



Figura 4.4. Museo Archeologico Nazionale di Venezia, sala in cui si è svolto il rilievo. a) Illuminazione naturale da due aperture, poste davanti all'oggetto e rivolte a nord-ovest; b) posizione della statua e rilievo con laser scanner *Konica Minolta Vivid-910.*

I principali parametri legati alla fase di misurazione e che caratterizzano un sensore 3D sono la risoluzione, l'accuratezza e l'incertezza, generalmente dichiarati dall'azienda produttrice nella scheda tecnica[10]. La risoluzione corrisponde alla più piccola variazione del misurando che può essere misurata e, nel caso di uno strumento di rilievo, è definita dal minimo passo di campionamento spaziale utilizzabile ed è determinata dall'insieme delle qualità ottiche, meccaniche ed elettroniche del sensore. L'accuratezza si riferisce all'errore tra la misura di una quantità e il suo vero valore ed è legata ad errori sistematici, che possono essere minimizzati nella fase di taratura dello strumento. La precisione o incertezza corrisponde alla dispersione (σ) delle misure intorno alla loro media ed è dovuta ad errori causali, non correggibili in fase di taratura. Sono stati presentati i valori nominali, riportati nella scheda tecnica del sensore, escludendo il valore di precisione, non dichiarato (tab. 4.1).

[9]Cfr. § 4.1.3.
[10]GUIDI*et al.* 2010, pp. 126-151.

La ridotta mobilità attorno alla statua non ha permesso il rilievo della parte posteriore. Inoltre, non si è potuto innalzare il sensore per raggiungere l'estremità superiore del reperto, escludendo parzialmente la testa dall'acquisizione, e altre parti non sono state rilevate a causa dei sottosquadri[11]. L'area totale rilevabile è di 5.563,835 mm^2 e con il *laser scanner* si sono registrati 3.867,760 mm^2, corrispondenti al 70% della superficie.

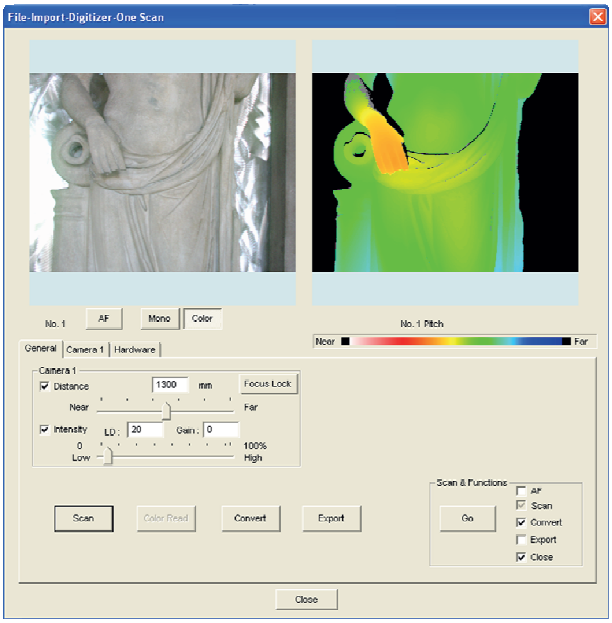


*Figura 4.5. S*oftware *Polygon Editing Tool usato per gestire il rilievo. La mappa in falsi colori distingue le parti della superficie, poste su piani a distanze diverse.*

4.1.3 Elaborazione dati range-based e risultati

La fase di *pre-processing* è fondamentale per filtrare il *dataset*, ovvero eliminare gli elementi estranei alla geometria e modificare i dati che presentano errori incompatibili con le caratteristiche geometriche del modello fisico.

Il sensore restituisce direttamente la *mesh*, quindi, dopo aver esaminato le singole scansioni, si è proceduto eliminando i triangoli non coerenti, applicando algoritmi di analisi automatica disponibili in ambiente Geomagic Studio[12].

Segue l'allineamento delle singole scansioni, che è una delle fasi più onerose dell'intero lavoro. L'approccio applica ilmetodo *Iterative Closest Point* (ICP)[13], individuando coppie di punti omologhi corrispondenti su 2 scansioni, il cui allineamento è ottimizzato tramite gli algoritmi

[11]Si ottengono quando la forma geometrica dell'oggetto crea dei vincoli, impedendo al sensore di acquisire parte della superficie e di restituirla digitalmente. È preferibile evitare queste lacune soprattutto nel campo dei Beni Culturali, dove si richiede la restituzione oggettiva del dato.
[12] http://www.3dsystems.com.
[13]BERNARDINI, RUSHMEIER 2002, pp. 149-172.

automatici. Le acquisizioni sono rilevate in uno spazio vincolato dalla posizione del sistema strumento-oggetto e ogni *range map* ottiene un proprio riferimento locale, relazionato alla posizione del sensore e ai suoi spostamenti. Con l'allineamento si stabilisce la scansione di riferimento, rispetto alla quale saranno allineate tutte le altre, definendo un sistema di coordinate globali.

Si è proceduto registrando le acquisizioni per fasce[14], attraverso l'individuazione di almeno 3 punti omologhi (figg. 4.6 a, 4.7 a), distribuiti su piani differenti ed in modo "sparso" sulle superfici sovrapposte di 2 o più *range map*.

Si ottiene la prima trasformazione, attraverso una rototraslazione approssimata, poi ottimizzata iterativamente con calcoli ripetuti fino a minimizzare la distanza media globale tra le scansioni (figg. 4.6 b, 4.7 b). La media dei valori calcolati sui risultati di ciascun processo di allineamento, svolto per la fascia laterale destra, presentata come esempio (figg. 4.6 a, b e 4.7 a, b), corrisponde a 0,943 mm per la distanza media e a 0,362 mm per la *standard deviation*[15].

Per ciascun gruppo di scansioni, allineate tra loro, si è proceduto con la registrazione globale, che verifica il corretto orientamento, consentendo d'intervenire sui parametri di tolleranza (definendo la deviazione media tra i punti delle diverse scansioni), sul numero massimo d'iterazioni eseguite e sulle dimensioni del campione (*sample size*), che determinano il numero di punti di ciascun'acquisizione usati per guidare il processo di registrazione (figg. 4.8 a, b).

I valori medi, calcolati sui risultati, ottenuti per la fascia laterale destra, corrispondono a 0,282 mm per la distanza media e a 0,260 mm per la *standard deviation*. Il confronto con i risultati della precedente registrazione (tab. 4.2) evidenzia come l'applicazione del secondo algoritmo abbia restituito un allineamento più fine. L'esito della registrazione globale di tutte le fasce di acquisizione ha fornito valori di 1,253 mm per la distanza media e di 1,681 mm per la *standard deviation*.

	Distanza media (mm)	***Standard deviation* (mm)**
Registrazione manuale	0,943	0,362
Registrazione globale	0,282	0,260

Tabella 4.2. Confronto dei valori medi della standard deviation *e della distanza media, ottenuti con la registrazione manuale e globale della fascia laterale destra, usata come esempio.*

[14]Cfr. Appendice B per i risultati del lavoro sulle singole fasce di acquisizione.

[15] La *standarddeviation* o scarto quadratico medio è un indice di dispersione che descrive sinteticamente una distribuzione statistica quantitativa, riportando la misura con cui i suoi valori si allontanano da un valore centrale.

Segue il processo di fusione (*merge*), eseguito per unire tra loro solo le *mesh* di una singola fascia di acquisizione, creando un'unica superficie poligonale continua per ciascuna fascia ed eliminando i dati ridondanti. Si è intervenuto per impostare alcuni parametri, tra cui la riduzione del rumore locale, riferito ai singoli punti e poligoni, e controllando la registrazione globale, ovvero la deviazione massima, il numero delle iterazioni e la percentuale di punti o poligoni campionati durante il calcolo. Inoltre, si sono definiti i parametri di riduzione globale del rumore e impostato il numero massimo di triangoli che caratterizzeranno la superficie continua e la qualità delle prestazioni. Si procede con l'analisi qualitativa del risultato, eliminando gli errori topologici e minimizzando il rumore, per poi colmare le lacune, dopo aver elaborato il modello completo.
Segue la decimazione della superficie, calcolata per ciascuna fascia di acquisizione, che ha ridotto il numero dei poligoni di circa il 20%, per semplificare la gestione dei dati pur rispettando gli obiettivi della digitalizzazione.

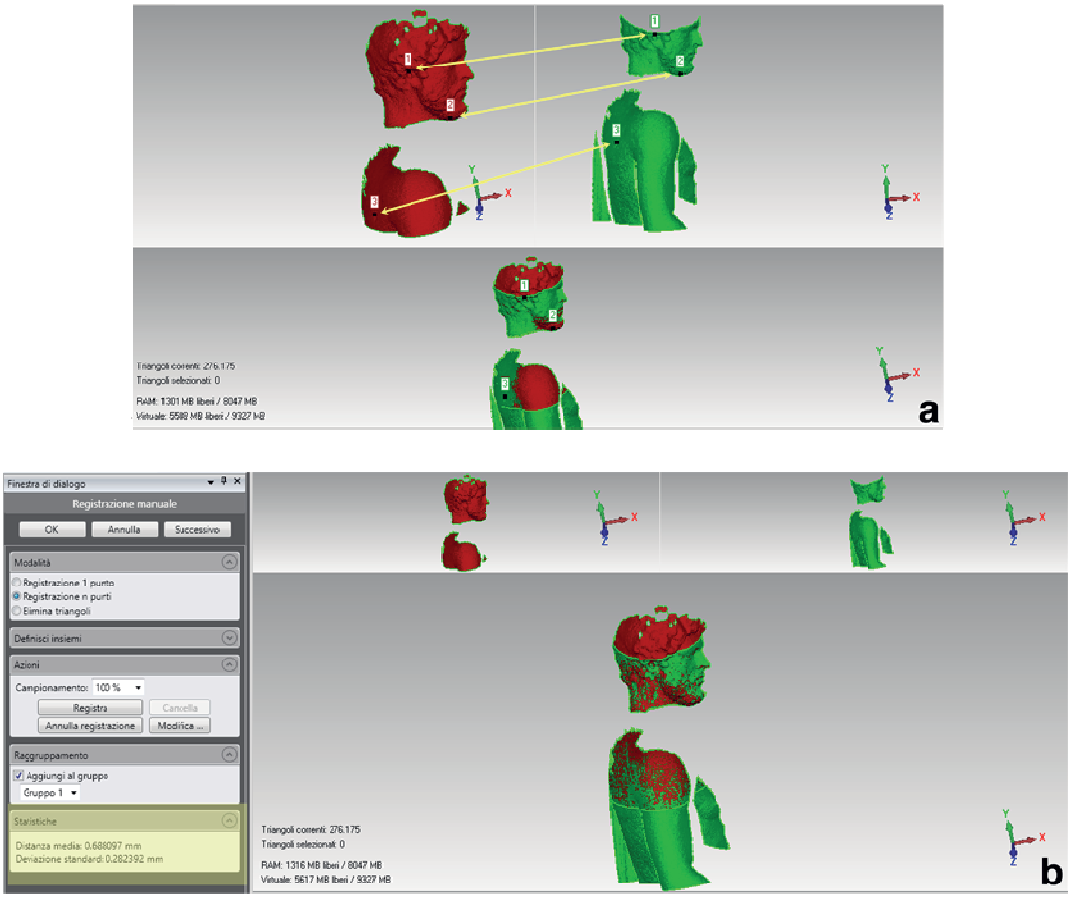


Figura 4.6. Fase di allineamento con mesh *in falso colore in ambienteGeomagic Studio. a) individuazione di 3 coppie di punti omologhi, basandosi sui dettagli geometrici; b) risultato dell'algoritmo ICP, con indicazione dei valori della distanza media (0,688 mm) e* standard deviation *(0,282 mm).*

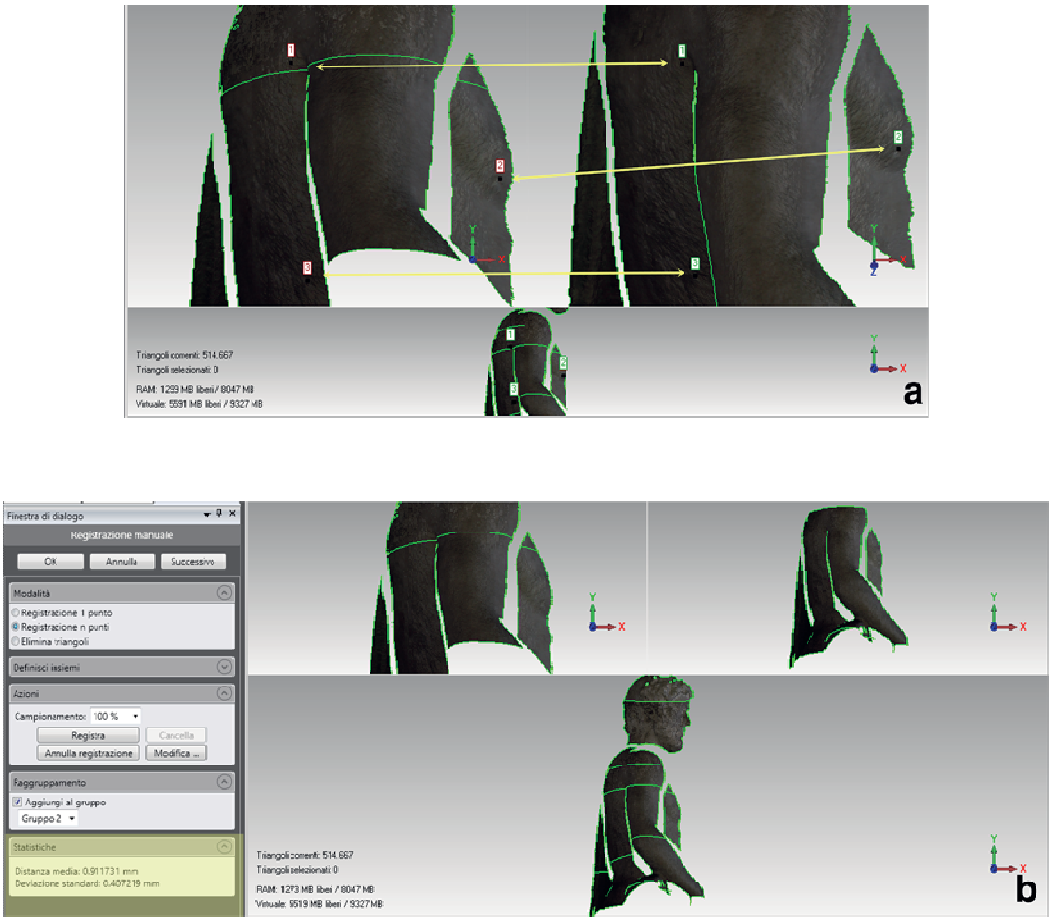


Figura 4.7. Fase di allineamento con mesh *e* texture in ambiente *Geomagic Studio. a) Individuazione di 3 coppie di punti omologhi, basandosi sui dettagli presenti nelle* texture*; b) risultato dell'algoritmo ICP, con indicazione dei valori della distanza media (0.911 mm) e* standard deviation *(0,407 mm).*

Osservando i risultati (figg. 4.9 a, b, c) emergono diverse lacune, distribuite in più parti della superficie, tra cui l'interno delle pieghe frontali dell'*himation* e dell'iscrizione incisa sulla base, la parte inferiore del mantello e posteriore della mano destra, oltre all'interno del vaso, che conserva una porzione di marmo non lavorato e risparmiato dagli attacchi ambientali.

Alcune di queste lacune saranno colmate con i dati fotogrammetrici, mentre altre saranno ricostruite, per ottenere un risultato ottimale per la cosiddetta visualizzazione scientifica.

Si riportano alcuni dei risultati(tab. 4.3), dove si osserva come siano stati rispettati gli obiettivi, restituendo una risoluzione millimetrica della superficie, compatibilmente con le condizioni ambientali e le impostazioni della fase di rilievo. Il dato RGB, considerata la sua bassa qualità, non sarà considerato per l'elaborazione del modello finale, e le *texture* sono ricavate dalla fotogrammetria. Il rilievo è stato utile per l'immediata restituzione geometrica e come riferimento per l'elaborazione basata su immagini.

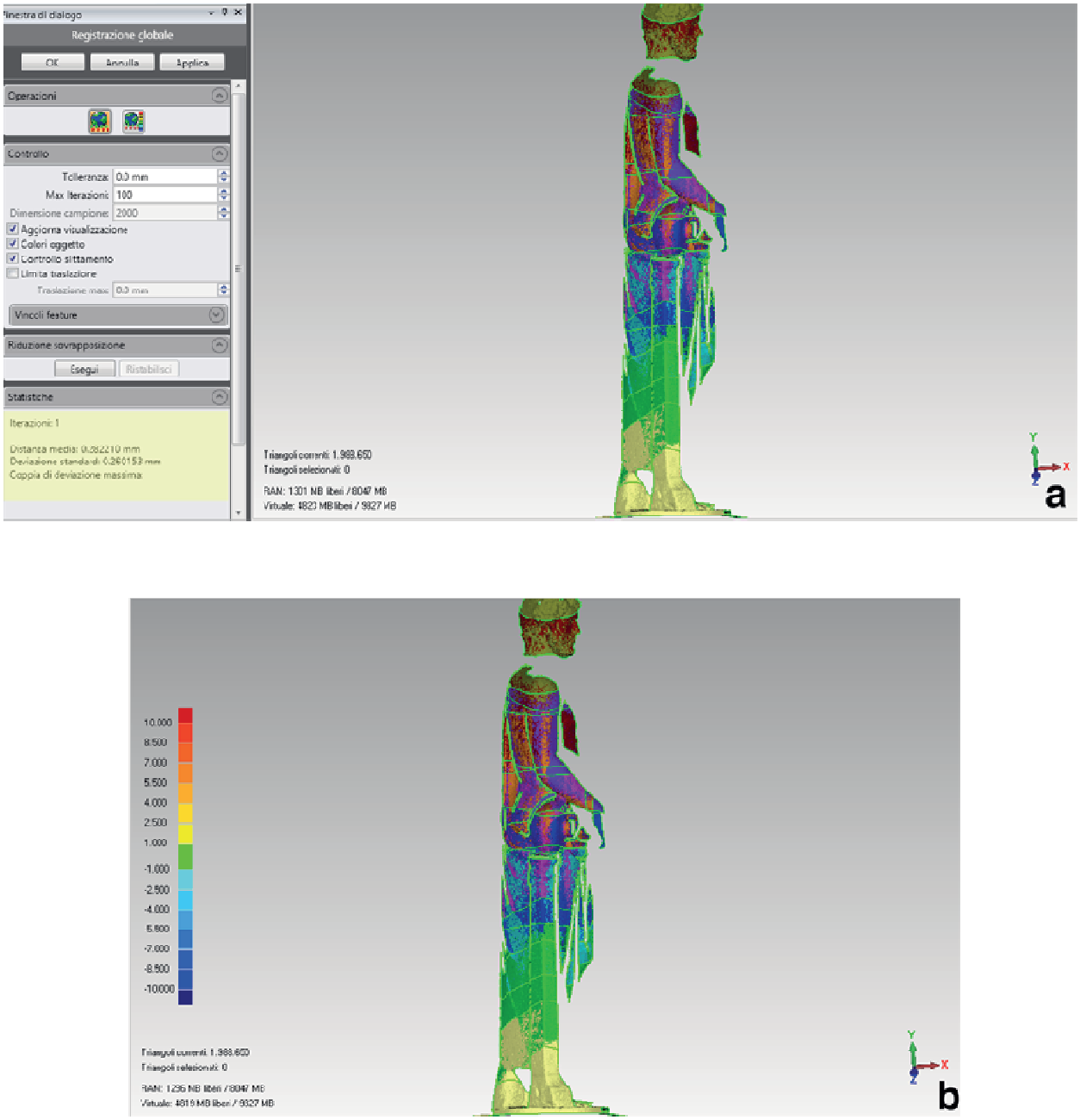


*Figura 4.8. Allineamento globale di una fascia di acquisizione in ambiente Geomagic Studio. a) i falsi colori distinguono le singole scansioni e sono indicati i valori di distanza media (0,282 mm) e*standarddeviation *(0,260 mm); b) lo spettro in falsi colori riporta i valori di deviazione calcolati nei punti di sovrapposizione (indicando in rosso i valori positivi più critici e in blu i valori negativi più critici).*

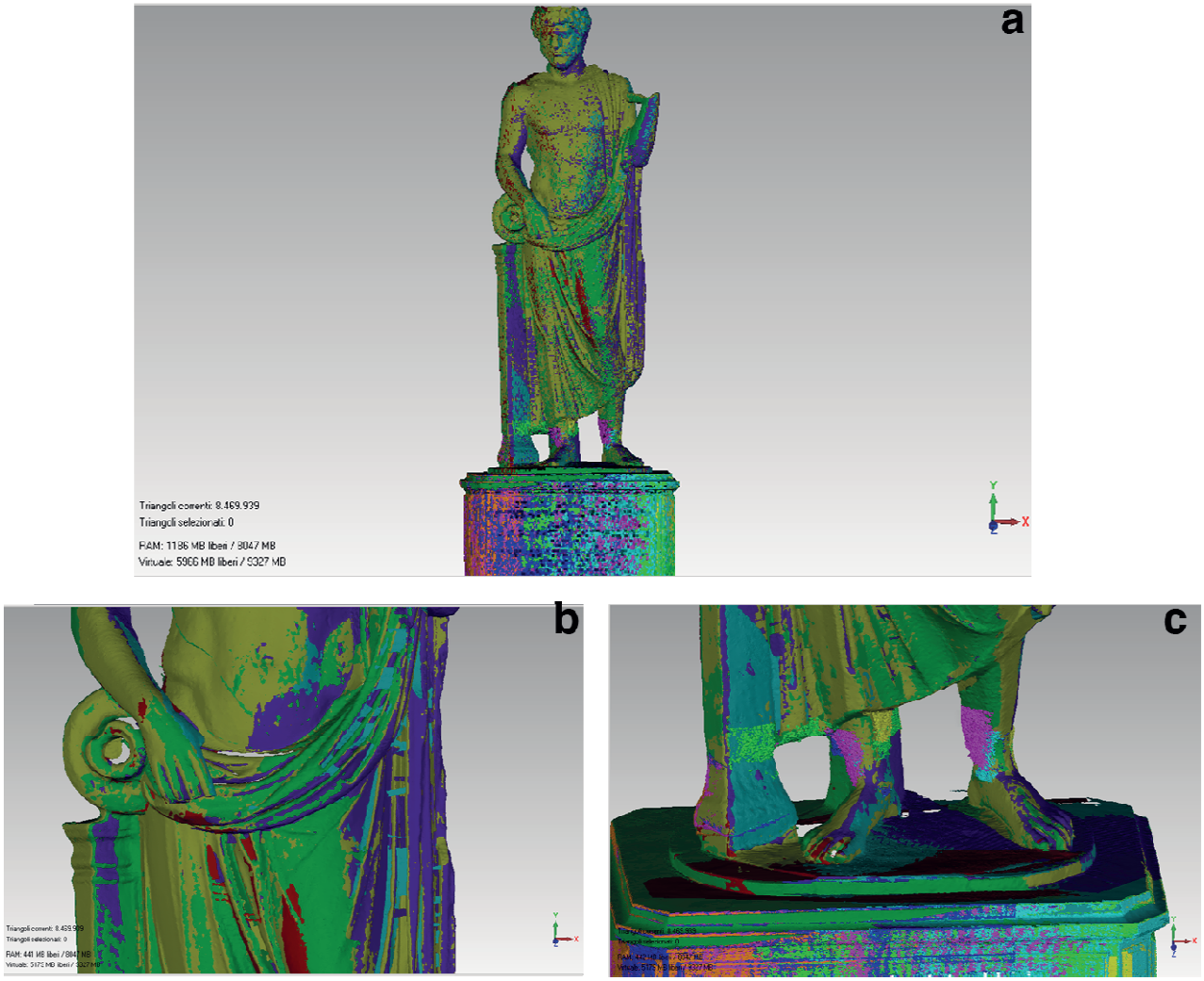


Figura 4.9. Risultati del rilievo range-based*. a) restituzione della parte frontale, i falsi colori distinguono le singole scansioni; b) - c) particolari della parte centrale e inferiore.*

Dati	x, y, z RGB
Risoluzione *mesh*	0,8 mm
Formato esportazione	STL, OBJ
Totale punti	6.692.324
Totale poligoni	8.469.939

Tabella 4.3. Dati relativi al rilievo range-based.

4.1.4 Rilievo image-based

L'approccio si è basato su una tecnica a scala terrestre, dove le immagini sono elaborate seguendo i principi della fotogrammetria, automatizzati attraverso i processi della *computer vision*[16]. La strumentazione è dotata di maggiore mobilità e maneggevolezza, rispetto al *laser scanner*, e consente di restituire un'ampia copertura spaziale della superficie, rilevando anche le parti posteriori e superiori e coprendo alcuni sottosquadri, oltre a fornire il dato RGB.

Le condizioni ambientali[17], in particolare l'illuminazione e i suoi cambiamenti al variare dei punti di presa (figg. 4.4 a, b), non hanno favorito l'omogeneità cromatica, riducendo talvolta la nitidezza delle immagini, soprattutto nella parte posteriore, dove si è intervenuti schermando la luce.

Le immagini digitali sono state acquisite con le fotocamere Nikon D5000[18] e Nikon D3200[19] (figg. 4.10 a, b e tab. 4.4), entrambe con sensore *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS); la prima monta un obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-55 mm VR e la seconda un obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-55 mm VR II, con *zoom* 3x (tab. 4.5). I dati sono registrati in formato *raw* che consente d'intervenire sul valore radiometrico in fase di pre-elaborazione e *Join Photographic Expert Group* (JPEG-Fine). La camera Nikon D3200 restituisce una maggiore qualità, mentre la Nikon D5000, dotata di uno schermo *Liquid Crystal Display* (LCD) movibile ad angolazione variabile, inquadra e acquisisce parti della superficie difficilmente raggiungibili.

Le impostazioni del rilievo e i parametri della fotocamera sono stati configurati, considerando gli obiettivi dell'acquisizione, le caratteristiche dell'oggetto, le condizioni ambientali e la mobilità strumentale.

[16] Cfr. § 4.1.5.
[17] Cfr. § 4.1.2.
[18] http://www.nikon.it/it_IT/product/discontinued/digital-cameras/2012/d5000.
[19] http://www.nikon.it/it_IT/product/digital-cameras/slr/consumer/d3200.



Figura 4.10. Fotocamere SLR, non metriche. a) Nikon D5000 con schermo movibile e obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-55 mm VR; b) Nikon D3200, dotata di obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-55 mm VR II e zoom 3x.

	Nikon D5000	**Nikon D3200**
Tipo	Fotocamera *reflex* digitale con obiettivo singolo	Fotocamera *reflex* digitale con obiettivo singolo
Corpo fotocamera	SLR compatto	SLR compatto
Risoluzione sensore (Mpixel)	12	24
Dimensioni sensore (mm)	APS- C 23,6 × 15,8	APS-C 23,2 × 15,4
Tipo di sensore	CMOS	CMOS
Dimensione massima immagine (*pixel*)	4.288 × 2.848	6016 × 4000
ISO	Auto, 200 - 3200 (più 6400 con impulso)	Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 (12800 con impulso)
Copertura fotogramma	Circa 95% in orizzontale e verticale	Circa 95% in orizzontale e verticale
Velocità minima otturatore (s)	1/200	1/200
Temperatura	0-40 °C	0-40 °C
Umidità	Inferiore all'85% (senza condensa)	Inferiore all'85% (senza condensa)

Tabella 4.4. Caratteristiche tecniche delle fotocamere SLR Nikon D5000 e Nikon D3200.

	Obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3.5 -5.6G VR	**Obiettivo AF-S DX Zoom - NIKKOR 18-55 mm f/3.5 -5.6G ED II**
Lunghezza focale (mm)	18-55	18-55
Apertura massima	F3.5 – 5.6	F3.5 – 5.6
Apertura minima	F22 - 36	F22 - 36
Distanza minima messa a fuoco (m)	0,28	0,28
Dimensioni (diametro × lunghezza) (mm)	73 × 79,5	73 × 79,5
Lente	Nikon F	Nikon F (DX)

Tabella 4.5. Caratteristiche tecniche degli obiettivi.

Si procede considerando la scala di restituzione 1:1 e l'errore di graficismo[20], che in cartografia è stabilito empiricamente con il valore di 0,2 mm. Attraverso il denominatore del rapporto di scala, l'errore di graficismo influenza il contenuto metrico (precisione con cui devono essere acquisiste le misure, ottenute nella rappresentazione) e qualitativo (livello di dettaglio). Di conseguenza, per calcolare la risoluzione, che fornirà la scala di restituzione stabilita, si procede moltiplicando l'errore di graficismo e il denominatore di scala. Il risultato e i valori dei dati tecnici della fotocamera sono usati per calcolare la distanza tra l'obiettivo e la superficie dell'oggetto, secondo la proporzione:

$$focale : dimensioni\ pixel\ = distanza\ camera - oggetto : GSD \qquad (4.1)$$

La focale impostata è legata alle caratteristiche dell'obiettivo e alla scala dell'oggetto; le dimensioni del *pixel* si ottengono dal rapporto tra il valore (massimo o minimo) delle dimensioni del sensore e il valore (massimo o minimo) della dimensione dell'immagine; il *Ground Sample Distance* (GSD)[21] corrisponde alla risoluzione sull'immagine (fig. 4.11).
La distanza calcolata è stata applicata nel rilievo delle parti frontali, mentre nelle parti posteriori si è operato con una distanza inferiore, compatibilmente con lo spazio disponibile. Si presentano alcuni dati tecnici sul rilievo(tab. 4.6), distinguendo tra le fotocamere usate e le parti dell'oggetto.

	Nikon D5000 (frontale)	**Nikon D5000 (posteriore)**	**Nikon D3200 (frontale)**	**Nikon D3200 (posteriore)**
Dimensione immagine *(pixel)*	4.288 × 2.848	4.288 × 2.848	6016 × 4000	6016 × 4000
ISO	800	450-1000	200	200
Lunghezza focale (mm)	18	18	18	18
Apertura diaframma	f/3.5	f/3.5	f/5.6	f/5.6
Tempo esposizione (otturatore)	1/80 - 1/100 s	1/100 s	1/13 s	1/13 s
Distanza obiettivo-oggetto (mm)	720	350 - 500	900	350 - 500
Totale immagini	293			

Tabella 4.6. Dati relativi al rilievo della parte frontale e posteriore della statua.

La *baseline* tra le immagini è stata impostata considerando la complessità geometrica della superficie ed evitando punti di presa troppo ravvicinati; la sovrapposizione è di circa il 70%, talvolta con valori maggiori in alcune zone e si è proceduto con fasce orizzontali e prese ortogonali ed oblique. In alcune immagini (almeno 2) è stato inserito un riferimento metrico, utile durante

[20]Errore metrico delle operazioni di misura su carta, dovuto allo spessoredelle linee, cui si associa un valore finito, (graficismo) e alla limitata acuità visiva. Questi concetti sono ancora di uso comune, nonostante l'ampia diffusione di strumenti digitali.
[21]Spazio della superficie dell'oggetto contenutonel *pixel*.

l'elaborazione, per scalare il modello e restituire un dato misurabile. Si è disabilitato l'*autofocus* e fissata la messa a fuoco, determinando l'angolo di campo, oltre ad evitare di acquisire parti della scena in cui l'oggetto non è presente, al fine di ridurre il rumore. Sono stati disattivati il correttore di distorsione e la rotazione automatica delle immagini, per acquisire foto ruotate di 90°, utili a calibrare i parametri di orientamento interno del sensore ed esterno delle immagini.

È fondamentale avere dati ridondanti, che pur aumentando i tempi di elaborazione rendono più precisa e accurata la restituzione. L'accuratezza non è legata solo alla scala dell'immagine, ma anche ai parametri configurati in fase di acquisizione, come l'elevato numero di fotogrammi e la ridondanza, da cui deriva una maggiore densità di punti, la geometria del raggio d'intersezione, ecc.

Il rilievo ha interessato tutta la superficie della statua (fig. 4.3), coprendo la maggior parte delle lacune dello *scanner* 3D ed escludendo solo la parte posteriore della base moderna, che dista dalla parete pochi centimetri. Questa è stata ricostruita, dopo aver integrato insieme i dati delle diverse tecniche[22].

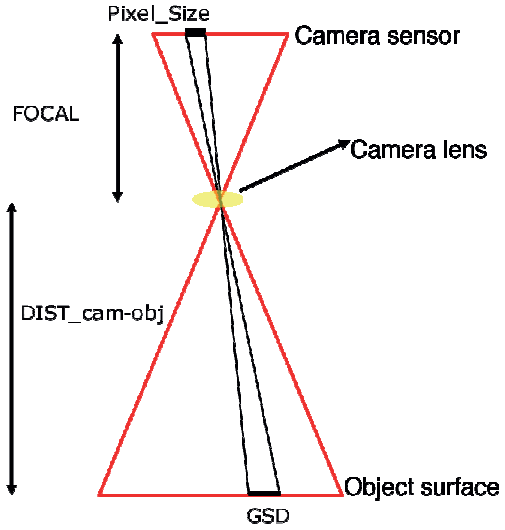


Figura 4.11. Il GSD corrisponde alla superficie dell'oggetto contenuta nel pixel*, ovvero alla risoluzione, misurata sulla superficie.*

4.1.5 Elaborazione dati image-based e risultati

Come per i dati *laser scanner*, anche per le immagini, si è condotta una pre-elaborazione, volta a verificarne la qualità, eliminando le acquisizioni non nitide e usando il formato *raw* per omogeneizzare i valori radiometrici in ambiente Adobe Photoshop CS5 Extended[23],. Il *dataset* è stato suddiviso in 2 gruppi (*chunk*), per favorire l'elaborazione in Agisoft Photoscan Professional

[22]Cfr. § 6.1.1.
[23] https://www.adobe.com.

(versione 1.1.0)[24], dove si controlla ulteriormente la qualità dei dati, attraverso la stima della nitidezza, considerando come riferimento i valori dell'intero *dataset*, ed eseguendo i calcoli sulla parte dell'immagine con una migliore focalizzazione.

Gli obiettivi e l'impostazione del rilievo hanno indirizzato verso quest'ambiente di elaborazione, che restituisce dati *x, y, z RGB* accurati, precisi, con un alto livello di dettaglio e risoluzione, attraverso un approccio speditivo e usando algoritmi di calcolo semi-automatico, dove l'utente interviene configurando alcuni parametri, nelle procedure di orientamento e allineamento delle immagini (SfM) e nel calcolo di *dense multi-view stereo matching*[25].

Le prestazioni del *software* sono relazionate alle caratteristiche dell'*hardware* e i valori indicati nel manuale della versione 1.1.0[26], considerando un'immagine con risoluzione media di 10 *Megapixel,* dichiarano la capacità di elaborare 20-30 immagini con una *Random Access Memory* (RAM) di 2GB e fino a 200-300 immagini con una RAM di 12GB; inoltre sono richiesti un sistema operativo a 64-bit, un processore *multi-core* (preferibile Intel Core i7) e sono indicate le schede grafiche, che accelerano la ricostruzione delle mappe di profondità. Di seguito, si riportano le caratteristiche del *computer* (tab. 4.7), usato per l'elaborazione, e le prestazioni raggiunte dal *software* nel caso applicativo(tab. 4.8).

Sistema operativo	Microsoft Windows 8.1 a 64 bit
Processore	Intel® Core ™ i5-3230M CPU@ 2.60GHz
RAM	8GB
Scheda grafica	GeForce GT 635M

*Tabella 4.7. Caratteristiche dell'*hardware.

	Chunk 1	**Chunk 2**
Numero foto per *chunk*	138	98
Risoluzione foto o peso	12 Mpixel / 24 Mpixel	12 Mpixel / 24 Mpixel
Tempo perl'allineamento delle immagini	*(High accuracy)* *Matching time*: 3h 54m *Alignment time* 10m	*(High accuracy)* *Matching time:* 1h 32m *Alignment:* 3m
Tempo per l'elaborazione della nuvola densa	*(Medium quality)* 50 m	*(Medium quality)* 30m
Tempo elaborazione *mesh*	11m	5m
Tempo elaborazione *texture*	1m (4096 × 4096 *pixel*)	51 s (4096 × 4096 *pixel*)

Tabella 4.8. Prestazioni software*, rapportate alle caratteristiche dell'*hardware *e al* dataset.

[24] Sviluppato da Agisoft LLC, http://www.agisoft.com. Per l'applicabilità nel campo dei Beni Culturali, la qualità dei risultati e il confronto con altri *software* e tecniche, vd. LO BRUTTO, MELI 2012, pp. 1-6; FASSI*et al.* 2013, pp. 73-80; KOUTSOUDIS *et al.* 2014, pp. 73-79; KERSTEN *et al.* 2015, pp. 1-8; EVGENIKOU, GEORGOPOULOS 2015, pp. 101-108.
[25] Cfr. § 3.2.2.
[26] AGISOFT LLC. 2014, pp. 1-66.

Le immagini sono orizzontali e ruotate di 90°, per favorire il calcolo dei parametri di orientamento interno ed esterno. Il *software* calibra automaticamente le immagini, basandosi sulle informazioni del *file* EXIF[27] (fig. 4.12) e divide le acquisizioni, secondo la fotocamera usata, distinguendo la procedura di elaborazione, tra i diversi sensori, per favorire il corretto calcolo dei parametri.

Prima dell'allineamento, si sono applicate le cosiddette maschere a ciascun'immagine (fig. 4.13), per escludere gli elementi che non riguardavano l'oggetto, attraverso una procedura manuale, talvolta *time-consuming*, ma utile a ridurre la durata delle successive fasi di elaborazione e a restituire minori errori topologici, limitando l'intervento dell'utente per la rifinitura della *mesh*[28].

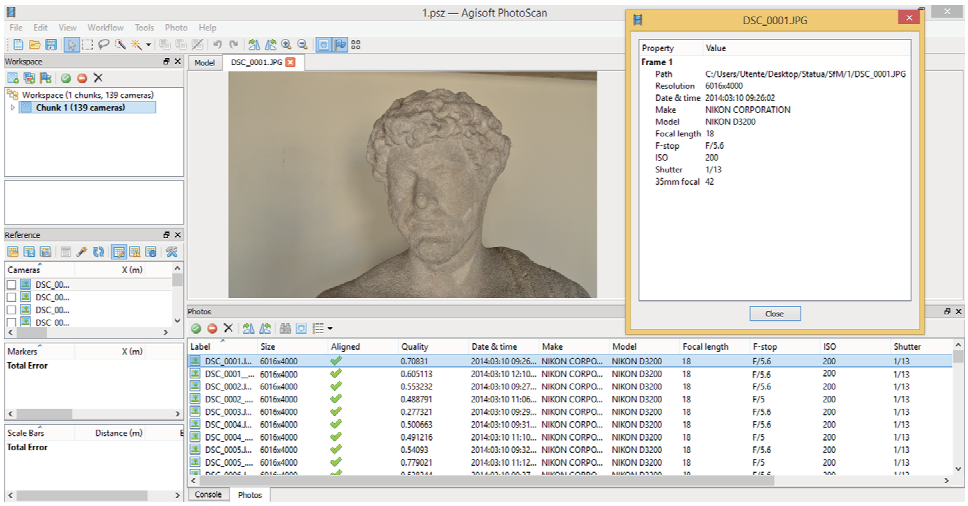


Figura 4.12. File EXIF e calcolo della qualità dell'immagine in ambienteAgisoft Photoscan Professional.

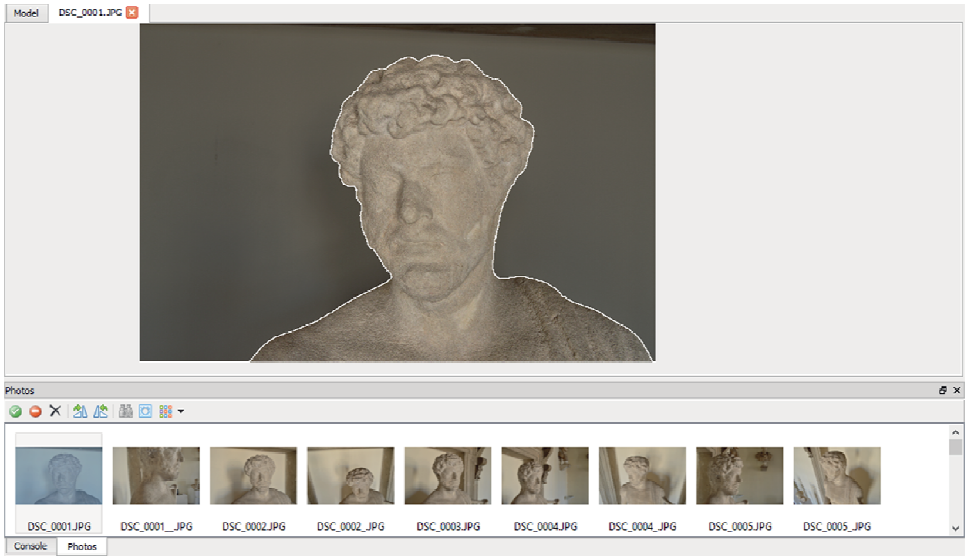


Figura 4.13. Esempio di maschera applicata su immagine in ambiente Agisoft Photoscan Professional.

[27] *Metadata* relativo all'immagine, che contiene informazioni sul tipo di camera, focale, ecc.

[28] Quando possibile, si usano pannelli di colore opposto all'oggetto, per favorire la fase di acquisizione e velocizzare l'applicazione delle maschere, GUIDI*et al.* 2013, pp. 874-882.

Nell'allineamento, si è impostato il valore *high* per l'accuratezza, mantenendo l'originaria qualità delle immagini e restituendo alti livelli di stima; inoltre si è disabilitata la ricerca di coppie di punti, orientando l'analisi sull'intera risoluzione dell'immagine. L'algoritmo procede individuando i punti, per poi creare coppie tra quelli corrispondenti e omologhi (*tie points*) e stima le posizioni della fotocamera. Il risultato è una nuvola non strutturata della scena 3D (figg. 4.14 a, b), dove le misure sono calcolate su valori relativi; vengono anche determinati i parametri interni di calibrazione della fotocamera e i coefficienti di distorsione radiale e tangenziale[29].

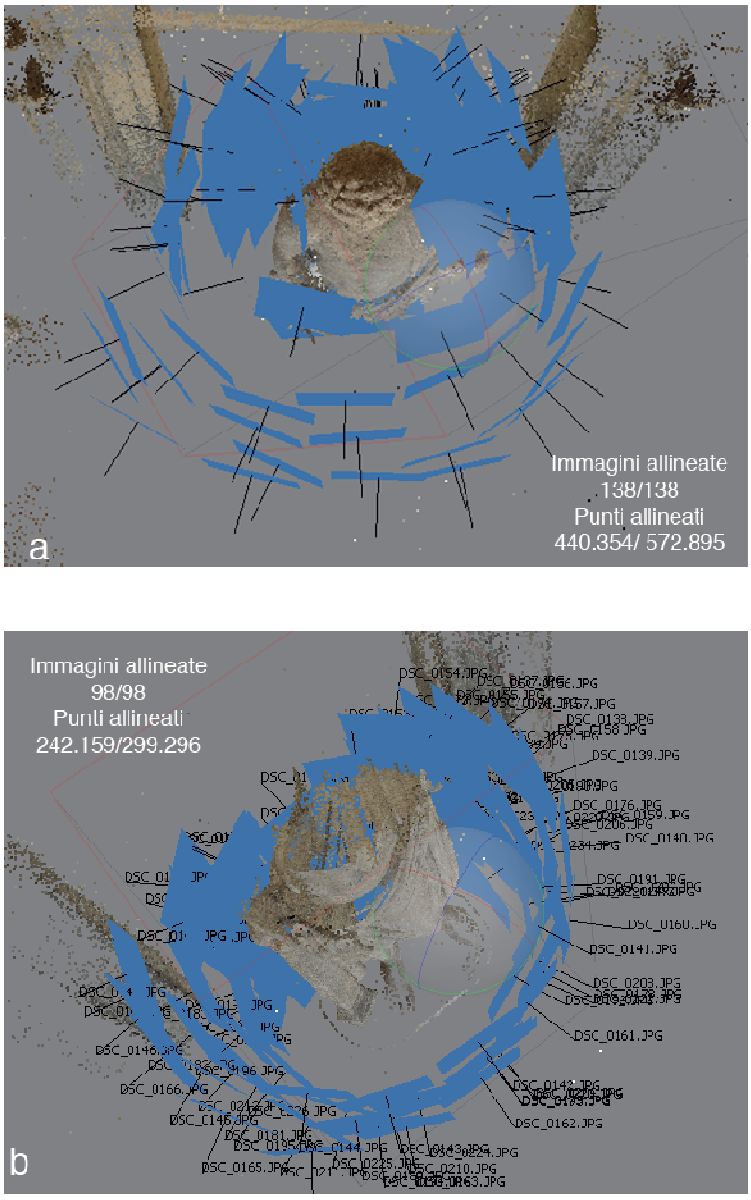


Figura 4.14. Risultati dell'allineamento,Agisoft Photoscan Professional: nuvola di punti non strutturata e posizione dei punti di presa. Divisione del dataset *tra la parte superiore (a) e inferiore della statua (b).*

[29]Il calcolo di questi parametri dimostra che non è necessario l'uso di una fotocamera metrica, ma quando impiegata, favorisce il livello di accuratezza. VERHOEVEN*et al*. 2011, pp. 67-73.

Per "scalare" il risultato ed ottenere un modello con dimensioni corrispondenti a quelle reali, si procede assegnando, ad almeno una coppia d'immagini, una misura nota tra una coppia di punti o *marker*, attraverso un riferimento metrico presente nelle acquisizioni, per poi ottimizzare gli esiti dell'allineamento[30], attraverso un nuovo calcolo delle posizioni di presa, dell'orientamento interno e delle coordinate 3D di ciascun punto.

Segue l'elaborazione della nuvola densa e strutturata, dove si determinano la collocazione e la profondità assegnate a ciascuna fotocamera, poi combinate in un'unica nuvola di punti (figg. 4.15 a, b). Si è intervenuti sulla qualità della risoluzione, scegliendo valori medi, perché livelli più elevati, restituiscono dati non facilmente gestibili nei passaggi successivi. Per ogni immagine, si calcola la mappa di profondità, con modalità *mild,* adatta a superfici irregolari ed alla restituzione di geometrie complesse. La configurazione dei parametri consente di rispettare gli obiettivi del lavoro, ma la possibilità di scegliere tra più livelli di dettaglio (LoD) restituisce un modello multi-risoluzione, aperto e fruibile a differenti applicazioni.

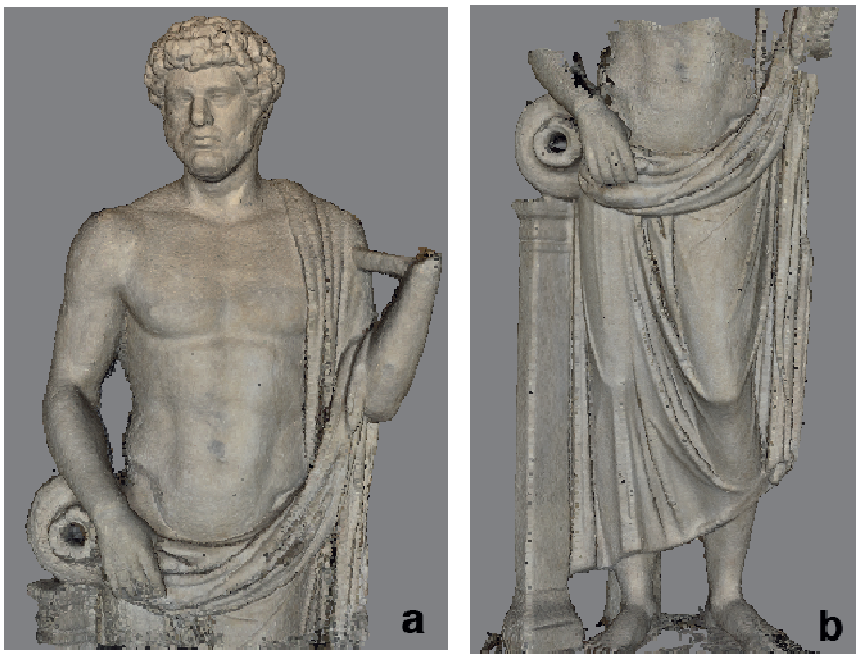


Figura 4.15. Nuvole di punti dense e strutturate in ambiente Agisoft Photoscan Professional. a) chunk *1, punti 10.603.262; b)* chunck *2, punti 6.257.916.*

Nell'elaborazione della *mesh,* l'algoritmo procede considerando il tipo di superficie, dove si è impostata la modalità *arbitrary*, adatta a qualsiasi oggetto ed in particolare a quelli definiti chiusi, come le statue; si sono indicati come fonte di dato la nuvola di punti densa ed il numero massimo di poligoni, scegliendo il valore 0, che consente agli algoritmi di procedere in base al caso specifico.

[30]Questa procedura è seguita per gli oggetti, mentre nel caso di rilievi su complessi architettonici o superfici territoriali, si caricano nel *software* i GCP, assegnando le misure, secondo un sistema di riferimento locale. Cfr § 3.2.1.

Si è disabilitata l'interpolazione, favorendo l'accuratezza del risultato, poiché sono ricostruite solo le aree, corrispondenti ai punti della nuvola densa. Durante l'elaborazione, si calcola anche il dato *RGB* associato ad ogni singolo vertice e si esegue una decimazione. Le *mesh,* ottenute per i 2 gruppi, dimostrano come il rilievo abbia pienamente restituito la parte posteriore della statua, non rilevabile dal *laser scanner*(figg. 4.16 a, b e 4.17 a, b). Nelle immagini sono riportate anche le *texture*, ottenute impostando *generic,* per la modalità di mappatura, adatto a geometrie di tipo arbitrario, *average* per il "mescolamento" (*blending*) dei *pixel* da più immagini in un'unica *texture*, scegliendo di non combinare i dettagli delle immagini sovrapposte, ma di procedere con le acquisizioni più accurate. Infine, si sono stabilite le dimensioni dell'immagine (4096 × 4096 *pixel)* e si è disabilitata la correzione del colore. È evidente la mancanza di omogeneità cromatica tra i diversi lati della statua, dovuta ai problemi d'illuminazione. Inoltre, nella parte posteriore, si notano numerose asperità nella *mesh*(figg. 4.16 a e 4.17 a), causate dalle difficili condizioni del rilievo, restituendo un risultato visualizzabile solo con la *texture*.



Figura 4.16. Restituzione di meshe texture*, nella parte superiore e posteriore della statua. a) dato geometrico (poligoni 647.430 e vertici 325.426); b) applicazione* texture*(4096 × 4096* pixel*).*

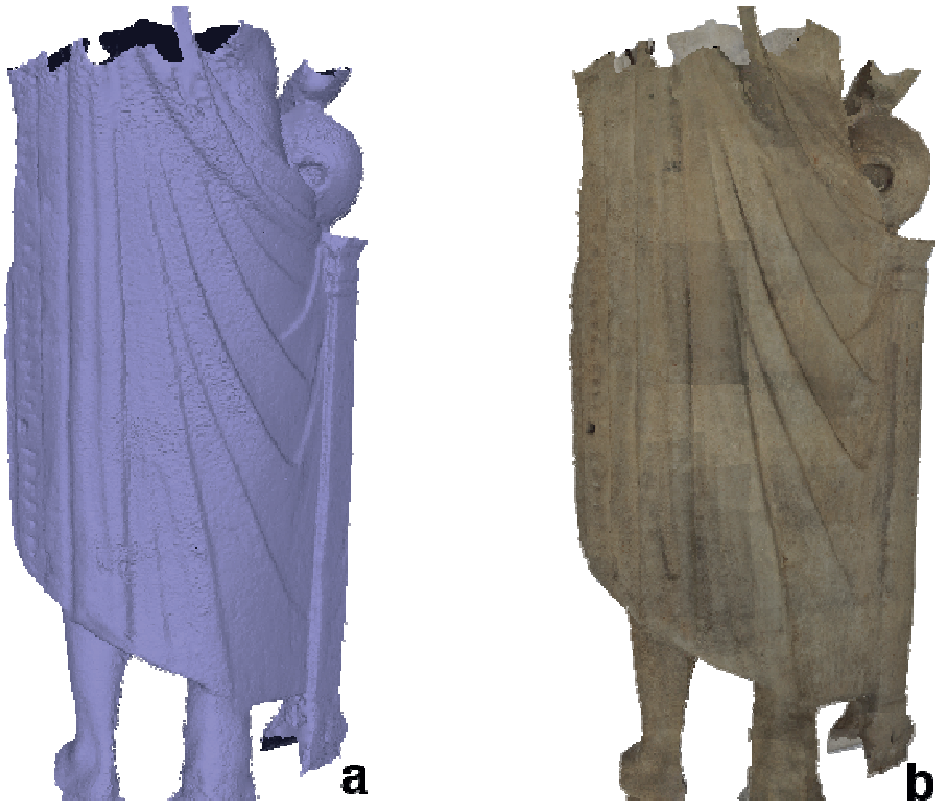


Figura 4.17. Restituzione di meshe texture*, nella parte inferiore e posteriore della statua. a) dato geometrico (poligoni 1.112.523 e vertici 557.752); b) applicazione* texture*(4096 × 4096* pixel*).*

L'elaborazione nell'ambiente Agisoft Photoscan termina con l'allineamento dei 2 distinti gruppi, tramite un algoritmo che combina le coppie di punti tra tutte le *chunk*, scegliendo un'accuratezza elevata e il valore 0 per consentire l'applicazione del calcolo appropriato al caso. Infine, per velocizzare il processo, si sceglie di lavorare sulle coppie preselezionate di punti, determinate nelle fasi precedenti. Il risultato restituisce l'allineamento tra i diversi gruppi e corregge eventuali errori di scala. Procedendo con il *merge*non è restituita un'unica superficie continua dei 2 gruppi, ma si registra l'allineamento, unendo le 2 *mesh*, poi esportate in Geomagic Studio per la fusione.
Al termine, si ottiene un modello poligonale con superficie continua e dettaglio millimetrico (tab. 4.9). Il risultato rispetta gli obiettivi in termini di accuratezza e ha restituito il dato *RGB*, che rende il modello realistico e adatto alla visualizzazione (figg. 4.18 a, b). Molte lacune del rilievo *laser scanner* sono state colmate, escludendo l'interno delle pieghe frontali dell'*himation*, della parte inferiore del mantello e posteriore della mano; infine si sono riscontrate alcune irregolarità nella superficie del retro della statua, su cui si è intervenuto, prima d'integrare i dati *laser scanner*.



Figura 4.18. Modello ottenuto con tecnica image-based *ed elaborazione in Agisoft Photoscan Professional. a) fronte; b) retro.*

Dati	x, y, z RGB
Risoluzione *mesh*	0,2 mm
Formato esportazione	OBJ, PLY
Totale punti	883.178
Totale poligoni	1.770.467

Tabella 4.9. Risultati del rilievo e dell'elaborazione image-based.

4.2 Il rilievo 3D dei cippi confinari

L'iscrizione rupestre del Monte Venda e il cippo di Galzignano sono conservati ed esposti presso il Museo Nazionale Atestino, il cippo di Teolo, diviso in 2 blocchi, è custodito in un magazzino dei Musei Civici agli Eremitani di Padova. L'obiettivo è riunire i reperti nell'originario contesto di appartenenza, attraverso la loro restituzione digitale 3D, fornendo un'immagine oggettiva e realistica, riportando con dettaglio la morfologia della superficie, prestando attenzione alle iscrizioni ed al loro tratto stilistico, che identificano la funzione dei reperti e ne delineano la provenienza culturale.

Gli oggetti sono in trachite euganea e nell'iscrizione rupestre del Monte Venda sono presenti 2 testi, entrambi incisi su una superficie piana; il testo superiore è stato rovinato durante il distacco dalla roccia del monte, riportando alcune lacune; inoltre la morfologia superficiale è molto articolata e presenta numerose asperità, a causa della poco curata tecnica stilistica. Diversamente, nella parte inferiore, il testo è più preciso e iscritto su roccia lavorata.

Il cippo di Galzignano ha forma tronco-conica con incisione longitudinale, presente anche nell'iscrizione del frammento A, del cippo di Teolo. Quest'ultimo ha forma cilindrica, come il frammento B, il cui testo è parzialmente danneggiato, lacunoso e iscritto trasversalmente. Pertanto, per visualizzare interamente le iscrizioni, è necessario osservare la superficie da più punti. Ciascun reperto presenta dettagli millimetrici e la profondità dei segni incisi è compresa tra 0,5 - 1 mm.

La digitalizzazione 3D consente di documentare i beni, registrare e valutare lo stato di conservazione, fornisce agli epigrafisti altri strumenti per lo studio e la comprensione dei testi, favorendone il confronto simultaneo. È possibile visualizzare gli oggetti e usare tecniche di *rendering*, che aiutano ad individuare i segni incisi. I reperti digitalizzati saranno resi fruibili al pubblico, in unico contesto individuato nel Museo del Termalismo, collocato nel territorio delle *Aquae Patavinae*, citato nelle epigrafi, dove sarà possibile creare collegamenti tra i diversi testi e comprenderne il valore semantico.

Infine, i risultati sono usati per sperimentare applicazioni di realtà aumentata, trattate nel capitolo 6 e basate sull'integrazione di più tecniche di visualizzazione.

4.2.1 Scelte metodologiche e pianificazione

Anche in questo caso si è proceduto con metodologia *reality-based*, restituendo un modello accurato e preciso ed evitando il contatto con la superficie. A differenza della statua però, si è applicata solo la tecnica *image-based*, la cui procedura è stata descritta e presentata in precedenza (fig. 4.2), modificando l'approccio metodologico in base alle caratteristiche degli oggetti, alle loro dimensioni, collocazione e scala di rappresentazione.

L'iscrizione rupestre del Monte Venda è alta 1,232 m, larga 0,95 m e la profondità massima è di 0,36 m (fig. 4.19, a). Il cippo di Galzignano raggiunge un'altezza di 3,24 m, con diametro di 0,629 m, alla base (fig. 4.20 a). Il cippo di Teolo è diviso nel frammento A, alto 0,90 m, con diametro di 0,64 m, mentre il frammento B è alto 0,49 m, con diametro di 0,50 m (figg. 4.21 a, b). Anche in questo caso, si è proceduto con l'obiettivo di ottenere rappresentazioni in scala 1:1, che consentono di apprezzare i dettagli della superficie, tra cui le incisioni in cattivo stato di conservazione.

All'interno del museo, le condizioni ambientali hanno creato problemi nel rilievo delle peculiarità morfologiche. L'iscrizione rupestre del Monte Venda espone interamente la superficie iscritta e lo spazio antistante è sufficiente alla mobilità strumentale (figg. 4.19 a, b), ma l'illuminazione, che arriva dalla finestra laterale, non favorisce l'omogeneità cromatica e la nitidezza nelle acquisizioni oblique. La parte posteriore, invece, dista dalla parete circa 0,50 m, lasciando poca mobilità al rilievo; inoltre sono presenti altri ostacoli (termosifone).

Il cippo di Galzignano (figg. 4.20 a, b) affianca il precedente ed è posto tra una parete e una struttura espositiva, che lasciano poca mobilità. L'illuminazione non ha causato grossi problemi, creando solo qualche zona d'ombra, mentre alcune difficoltà sono dovute all'altezza e al rilievo dei segni incisi sulle superfici, rivolte verso gli ostacoli laterali.

Infine, il cippo di Teolo (figg. 4.21 a, b) rappresenta il caso più favorevole perché grazie alle ridotte dimensioni e alla collaborazione dei Musei Civici di Padova, i 2 frammenti sono stati trasportati fuori dal magazzino, dove le condizioni ambientali erano sfavorevoli al rilievo, e posti in un'area ombreggiata (fig. 4.21 b).

L'acquisizione, all'interno delle varie strutture, doveva procedere in modo speditivo e, considerato quanto esposto in precedenza, si è deciso di operare con tecnica *image-based*, favorendo anche il rilievo dei reperti geometricamente più complessi, inseriti nei diversi ambienti.

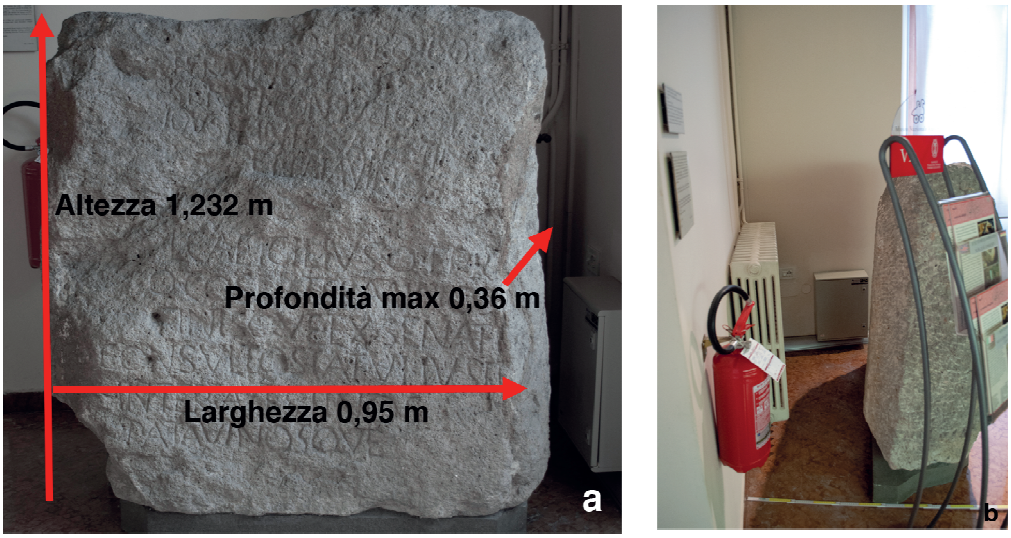


Figura 4.19. Iscrizione rupestre del Monte Venda: misure (a) e contesto d'inserimento (b).



Figura 4.20. Cippo confinario di Galzignano: misure (a) e contesto d'inserimento (b).

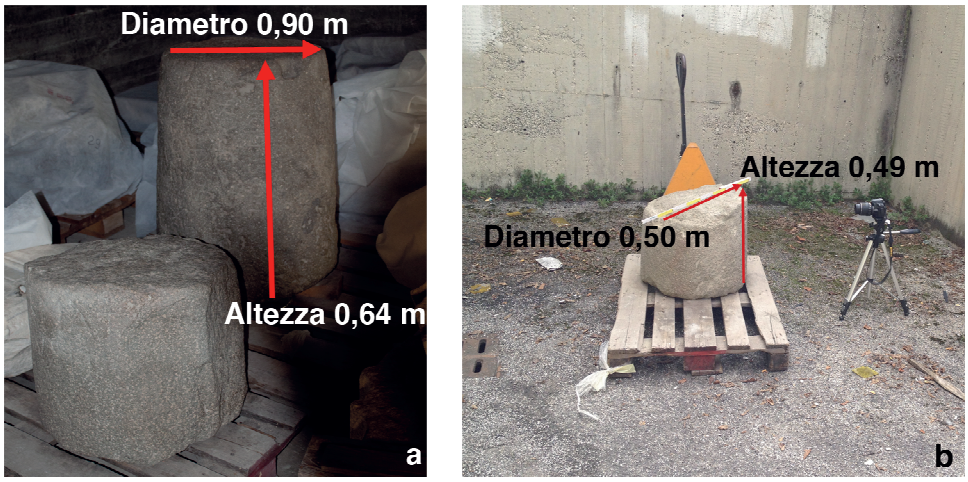


Figura 4.21. Cippo confinario di Teolo: misure del frammento A, all'interno del deposito (a); misure del frammento B, nel contesto in cui si è svolto il rilievo (b).

4.2.2 Rilievo image-based

La tecnica applicata segue la procedura descritta per la statua, modificando i parametri in base alle diverse caratteristiche dei reperti ed al contesto ambientale. Le fotocamere, gli obiettivi e le loro caratteristiche tecniche sono stati presentati in precedenza (figg. 4.10 a, b, tab. 4.4 e 4.5). La camera Nikon D5000 è stata impiegata per le acquisizioni in museo, dove lo schermo LCD movibile favoriva l'acquisizione di superfici poste ad altezze elevate o dove la mobilità era ridotta, mentre la camera Nikon D3200 è stata usata per il rilievo in ambiente esterno. I *file* sono archiviati in formato *raw* utile per interventi sul dato radiometrico e JPEG-Fine per semplificare la gestione.

Le condizioni più problematiche si sono verificate all'interno del museo, a causa delle variazioni d'illuminazione, degli ostacoli ambientali, posti in prossimità dei reperti e delle forme e dimensioni degli oggetti. L'iscrizione rupestre del Monte Venda è stata rilevata, suddividendo la superficie in fasce orizzontali e acquisendo immagini ortogonali e oblique della parte iscritta, per evitare lacune nell'incisione (figg. 4.22 a, b). Il rilievo si è svolto con Nikon D5000, impostando i parametri (tab. 4.10), calcolati applicando la proporzione 4.1 e distinguendo tra la parte frontale e laterale del reperto. La sovrapposizione orizzontale e verticale è molto elevata e corrisponde a circa l'80%, consentendo di avere dati ridondanti ed evitando lacune.

	Nikon D5000 (frontale)	**Nikon D5000 (posteriore)**
Dimensione immagine (*pixel*)	4.288 × 2.848	4.288 × 2.848
ISO	1100-3200	400-800
Lunghezza focale (mm)	55	55
Apertura diaframma	f/5.6	f/5.6
Tempo esposizione (otturatore)	1/50 s	1/50 s
Distanza obiettivo-oggetto (mm)	720 – 900	300 – 500
Totale immagini	1076	

Tabella 4.10. Iscrizione rupestre del Monte Venda, parametri impostati per il rilievo della parte frontale e posteriore.

Anche il cippo di Galzignano è stato rilevato seguendo fasce orizzontali e distinguendo la parte iscritta e non iscritta, a causa della ridotta mobilità (fig. 4.23 a). Si è prestata particolare attenzione all'iscrizione, restituendola con precisione e accuratezza e riportando anche la profondità del segno inciso, mentre dove non vi erano elementi di dettaglio, il lavoro si è svolto in modo più speditivo.

Si è proceduto con la camera Nikon D5000, applicando parametri differenti tra le superfici di acquisizione (tab. 4.11), che per la loro posizione erano influenzate in modo diverso dalle condizioni ambientali. Anche in questo caso si è mantenuta una sovrapposizione orizzontale e verticale elevata (80%), per avere dati ridondanti e risultati accurati nell'allineamento e nella restituzione dell'iscrizione.

Infine, anche l'acquisizione dei 2 frammenti del cippo di Teolo è stata divisa in fasce orizzontali e favorita dalla completa mobilità attorno ai reperti, che ha permesso di seguire lo schema (fig. 4.23 b), rispettando i parametri (tab. 4.12).

	Nikon D5000 (parte iscritta)	**Nikon D5000 (parte non iscritta)**	**Nikon D5000 (parti laterali ed estremità superiori)**
Dimensione immagine (*pixel*)	4.288 × 2.848	4.288 × 2.848	4.288 × 2.848
ISO	500 - 1100	2000 - 3200	500 - 1100
Lunghezza focale (mm)	30	30	30
Apertura diaframma	f/4.5	f/4.5	f/4.5
Tempo esposizione (otturatore)	1/60 s	1/60 s	1/60 s
Distanza obiettivo-oggetto (mm)	1200 mm	1200 mm	300 – 600 mm
Totale immagini	717		

Tabella 4.11. Cippo confinario di Galzignano, parametri impostati per il rilievo delle diverse parti.

	Nikon D3200 frammento A	**Nikon D3200 frammento B**
Dimensione immagine (*pixel*)	6016 × 4000	6016 × 4000
ISO	400	400
Lunghezza focale (mm)	55	55
Apertura diaframma	f/6.3	f/6.3
Tempo esposizione (otturatore)	1/160 s	1/125 s
Distanza obiettivo-oggetto (mm)	900 - 1000 mm	900 - 1000 mm
Totale immagini	347	204

Tabella 4.12. Cippo confinario di Teolo, parametri impostati per il rilievo dei 2 frammenti.

Le difficoltà erano legate al rilievo delle fasce più basse, dove non si è potuto usare il treppiede, perché i reperti poggiavano sul piano pavimentale e si è proceduto con acquisizioni libere, seguendo i parametri impostati. Vista la maggiore mobilità, si è usata la camera Nikon D3200, che restituisce immagini di qualità elevata, mentre l'illuminazione stabile ha favorito l'omogeneità cromatica e la nitidezza nelle acquisizioni. La sovrapposizione verticale e orizzontale si è mantenuta dell'80%, per evitare lacune e restituire dati accurati.

Sono stati rispettati anche gli altri parametri, presentati per la statua, tra cui la stabilizzazione della focale, l'inserimento di un riferimento metrico nelle acquisizioni per "scalare" il modello, la disattivazione del correttore di distorsione e della rotazione automatica delle immagini nella fotocamera. Inoltre, è stata fondamentale l'acquisizione di dati ridondanti, per restituire una maggiore densità di punti e accuratezza, favorendo il dettaglio geometrico, indipendentemente dalla forma e dalla morfologia della superficie.

Il rilievo ha interessato i reperti nella loro interezza, escludendo solo la base, che poggiava sul piano di sostegno. Le zone più problematiche sono state la parte posteriore dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e la chiusura del lato superiore del cippo di Galzignano, ricostruiti dopo l'elaborazione.

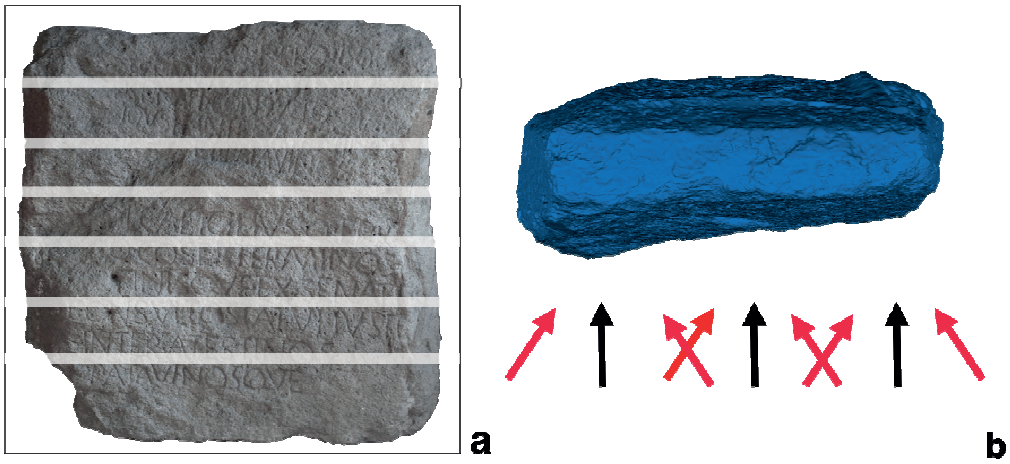


Figura 4.22. Iscrizione rupestre del Monte Venda, procedura di rilievo. a) suddivisione in fasce orizzontali; b) acquisizioni ortogonali e oblique per rilevare la profondità delle incisioni, nella parte frontale.

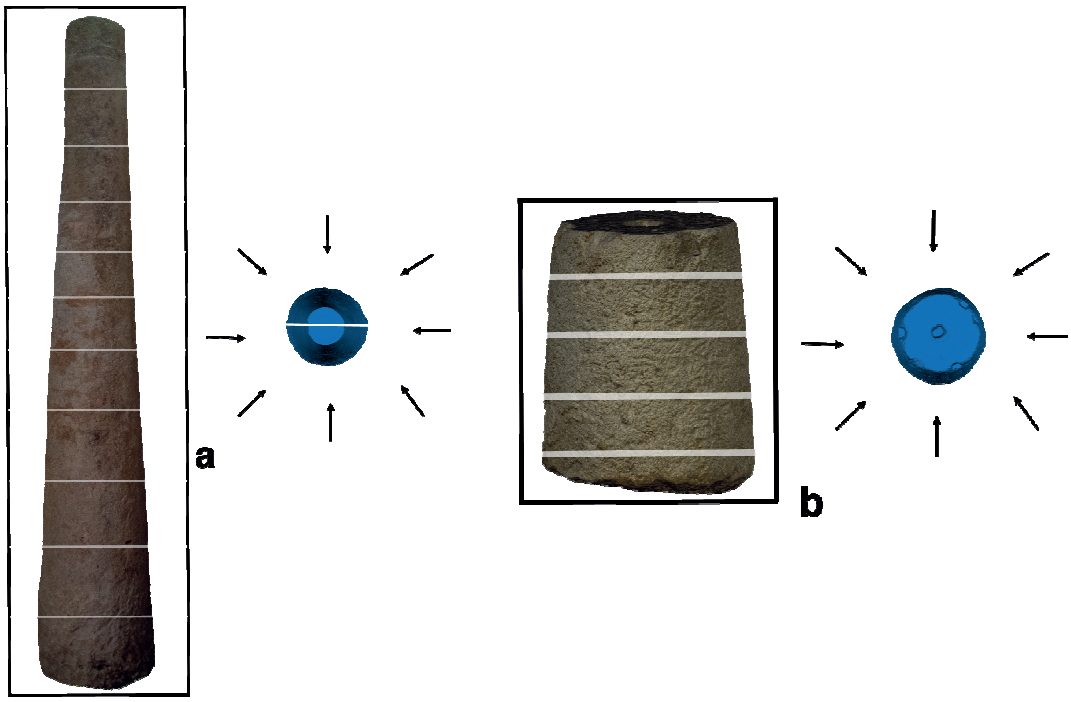


Figura 4.23. Cippi confinari, suddivisione in fasce orizzontali e punti di presa, durante il rilievo. a) cippo di Galzignano, distinzione tra la parte iscritta e non iscritta; b) frammento A del cippo di Teolo. Lo stesso schema è stato applicato anche al frammento B.

4.2.3 Elaborazione dati

La fase di pre-elaborazione, svolta in ambiente Adobe Photoshop CS5 Extended, usando il formato *raw*, è stata particolarmente onerosa per le immagini dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e del cippo di Galzignano, che non erano cromaticamente omogenee, a causa delle variazioni d'illuminazione in museo. I fotogrammi del cippo di Teolo, invece, avevano omogeneità cromatica,

grazie alle migliori condizioni d'illuminazione dell'ambiente esterno e non hanno richiesto ottimizzazione. Le immagini di ciascun reperto sono state organizzate in più *chunk*, per favorire l'elaborazione in Agisoft Photoscan Professional, preceduta da un nuovo controllo sulla qualità dei dati, dove si è stimata la nitidezza eseguendo i calcoli sulla parte più focalizzata, con riferimento ai valori dell'intero *dataset*.

L'elaborazione si è svolta distintamente per ogni reperto, modificando gli interventi in base alle caratteristiche dell'oggetto e considerando le prestazioni dell'*hardware* (tab. 4.7).

I *datasets* dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e del cippo di Galzignano sono stati organizzati con lo stesso approccio seguito durante il rilievo, distinguendo i gruppi d'immagini tra le acquisizioni della parte iscritta e non iscritta. Per l'elaborazione dei 2 frammenti del cippo di Teolo, si sono mantenute le fasce di acquisizione, processando l'intero *dataset* del frammento B in un unico gruppo. Ciascuna suddivisione contiene acquisizioni ortogonali, oblique e ruotate di 90°, per favorire il calcolo dei parametri di orientamento interno ed esterno ed i relativi *file* EXIF. Di seguito, si presentano le prestazioni del *software* per l'elaborazione di ciascun modello (tab. 4.13).

	Iscrizione rupestre Monte Venda	**Cippo di Galzignano**	**Frammento A, cippo di Teolo**	**Frammento B, cippo di Teolo**
Totale foto	1076	717	347	204
Risoluzione foto o peso (Mpixel)	12	12	12	12
Tempo per l'allineamento delle immagini (*high value*)	33h 30m	26h 49m	11h 50m	6h 22m
Tempo per l'elaborazione della nuvola densa (*medium resolution*)	14h 33m	3h 5m	1h 39m	1h 5m
Tempo elaborazione *mesh*	1h 9m	54m	16m	10m
Tempo elaborazione *texture* (4096 × 4096 *pixel*)	8m	5m	4m	2m

Tabella 4.13. Prestazioni software*, rapportate alle caratteristiche dell'*hardware *e al* dataset*di ciascun oggetto.*

L'applicazione delle maschere ha allungato i tempi di elaborazione del cippo di Galzignano, dove a causa della forma tronco-conica, si sono acquisite anche altre parti della scena 3D, mentre i tempi sono stati più rapidi per l'iscrizione del Monte Venda, dove la superficie era prevalentemente piana e gli interventi si sono concentrati nelle acquisizioni laterali, e per i 2 frammenti del cippo di Teolo, di dimensioni ridotte e più proporzionate rispetto agli altri.

Si è proceduto impostando parametri comuni per l'elaborazione di ciascun gruppo, iniziando con l'allineamento delle immagini, scegliendo il valore *high*per l'accuratezza (che non incide sulla qualità) e lavorando sull'intera risoluzione dell'acquisizione.

L'algoritmo analizza migliaia di punti per ciascun fotogramma (fig. 4.24), per poi creare coppie di punti omologhi e corrispondenze; inoltre stima le posizioni di presa. Il risultato è una nuvola non strutturata (figg. 4.25 a, 4.26 a, 4.27 a, 4.28 a), con misure relative, dove sono individuati i

parametri interni di calibrazione della fotocamera ed i coefficienti di distorsione radiale e tangenziale.

Prima di elaborare la nuvola strutturata, il risultato è "scalato" con riferimento agli indicatori metrici inseriti nelle acquisizioni, per poi ottimizzare gli esiti dell'allineamento.

La scelta dei parametri, per il calcolo della nuvola densa, deriva dal confronto dei risultati multi-risoluzione(fig. 4.29), ottenuti impostando diversi valori (*lowest, low, medium, high, ultra high*).

Si è proceduto con risoluzione media, che restituisce dettagliatamente la superficie, favorendone la visualizzazione ed inoltre semplifica la gestione delle fasi successive.

La mappa di profondità è calcolata con il metodo *mild*, adatto alla morfologia irregolare della superficie incisa. I risultati presentano già un'accurata restituzione della superficie iscritta e della profondità delle incisioni (figg. 4.25 b, 4.26 b, 4.27 b, 4.28 b).

Le *mesh* sono state elaborate con procedura *arbitrary*, adatta agli oggetti chiusi; inoltre si è scelta la nuvola densa di punti, come fonte di dato, e 0 come valore massimo di poligoni per consentire l'esecuzione dei calcoli, secondo le caratteristiche dell'oggetto. Si è disattivata l'interpolazione, favorendo l'accuratezza del risultato, attraverso la ricostruzione delle sole aree corrispondenti ai punti della nuvola densa; infine, si è calcolato il dato RGB associato ad ogni singolo vertice ed è stata eseguita una decimazione. Le *mesh* hanno restituito una superficie continua e priva di lacune nelle parti iscritte (figg. 4.25 c, 4.26 c, 4.27 c, 4.28 c).

Le *texture* si sono ottenute impostando una mappatura di tipo *generic*, adatta a geometrie arbitrarie, *average* per il "mescolamento" dei *pixel* da più immagini in un'unica *texture,* le dimensioni dell'immagine con valori di 4096 × 4096 *pixel* e disabilitando la correzione del colore.

Si osserva l'omogeneità cromatica delle *texture*, ottenuta grazie alle favorevoli condizioni di rilievo del cippo di Teolo e agli interventi di pre-elaborazione svolti sugli altri(figg. 4.25 d, e, 4.26 d, e, 4.27 d, e, 4.28 d).

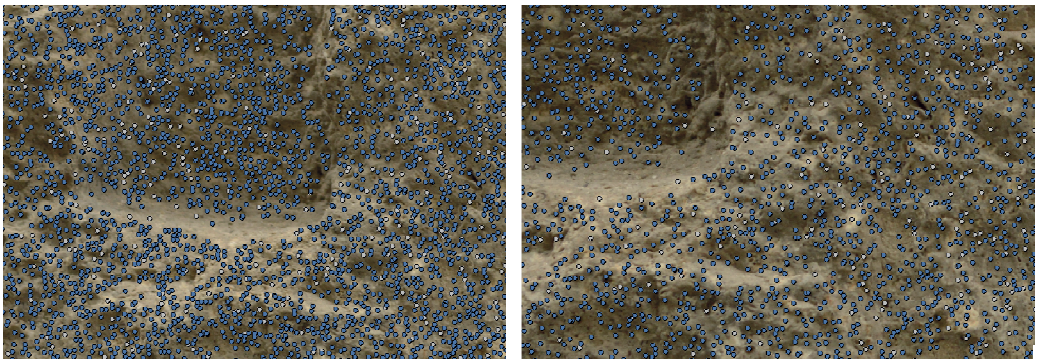


Figura 4.24. Immagini del frammento A del cippo di Teolo. Sono individuati migliaia di punti, per poi creare coppie di punti omologhi tra le acquisizioni.

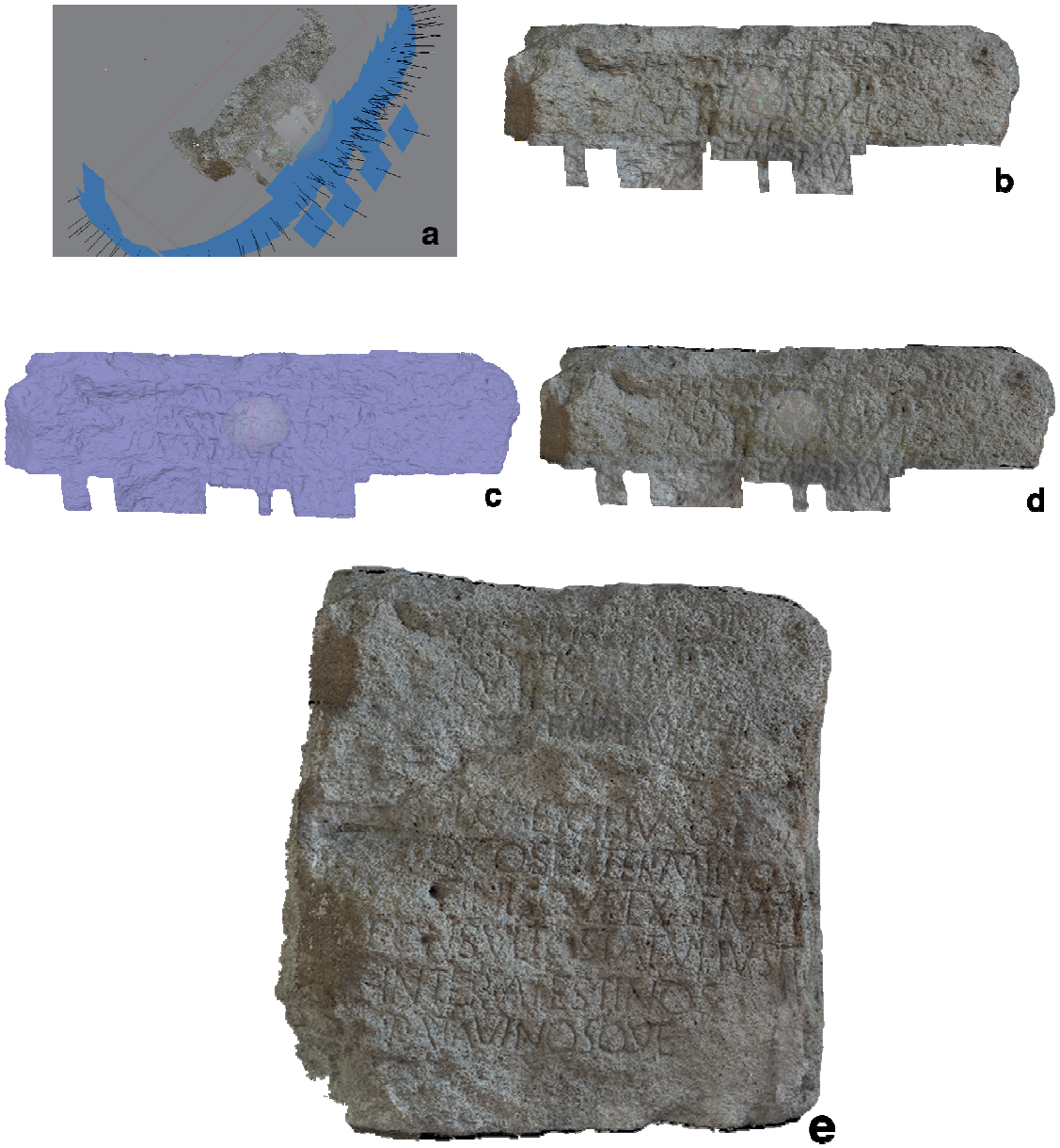


Figura 4.25. Iscrizione rupestre del Monte Venda. a)risultato dell'allineamento: nuvola non strutturata e punti di presa. Totale immagini allineate 885/1076 e punti 5.969.226/7.269.654; b) Nuvola di punti densa; c) mesh, *totale poligoni 9.205.777*; *d)* mesh *con* texture *4096 × 4096*pixel; *e) allineamento delle* mesh *con superficie iscritta.*

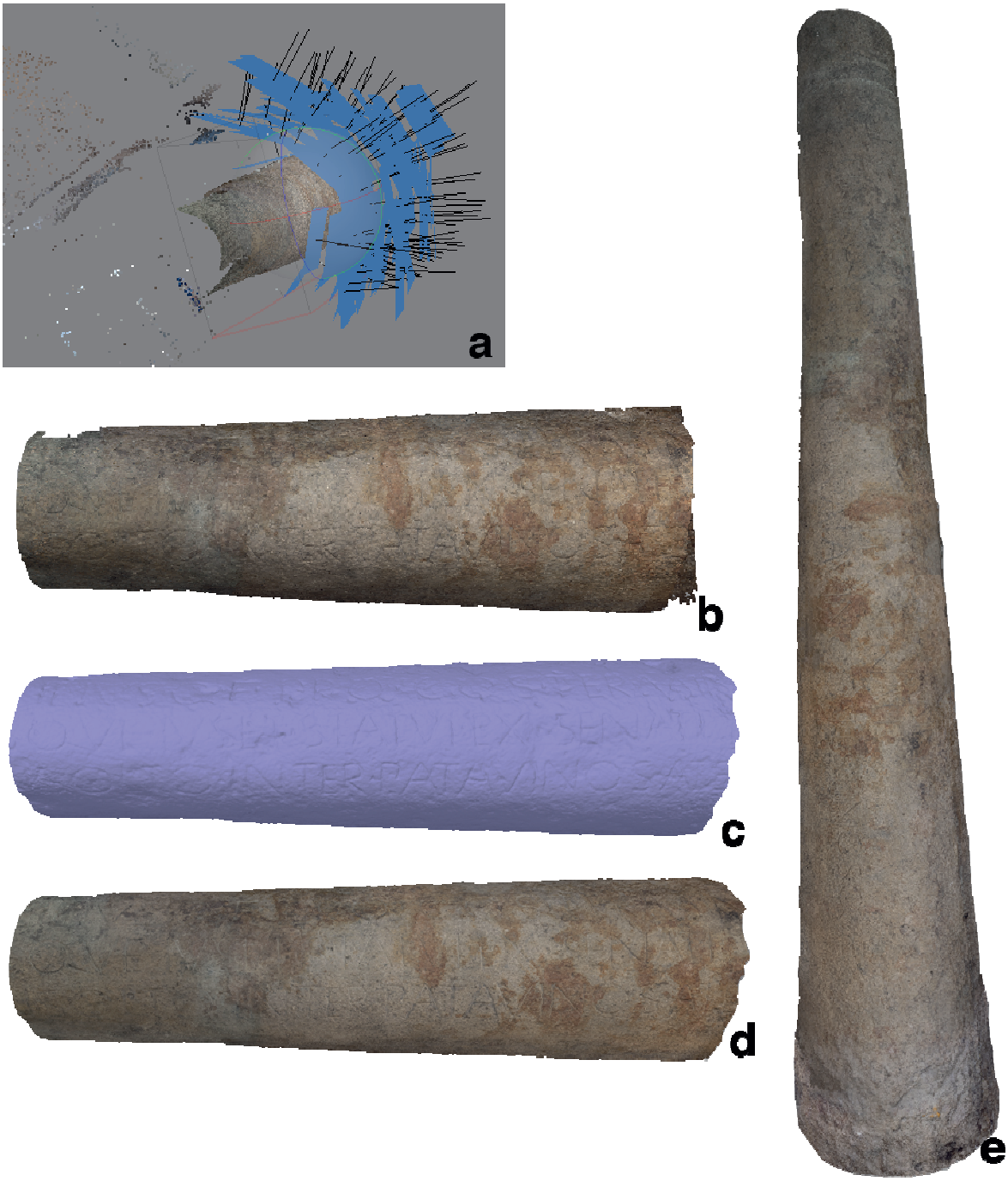


Figura 4.26. Cippo confinario di Galzignano. a) risultato dell'allineamento: nuvola non strutturata e punti di presa. Totale immagini allineate 679/683 e punti 5.462.991/4.085.117; b) nuvola di punti densa; c) mesh, *totale poligoni 5.709.507; d)* mesh*con* texture*4096 × 4096*pixel*; e) allineamento delle* mesh *con superficie iscritta.*

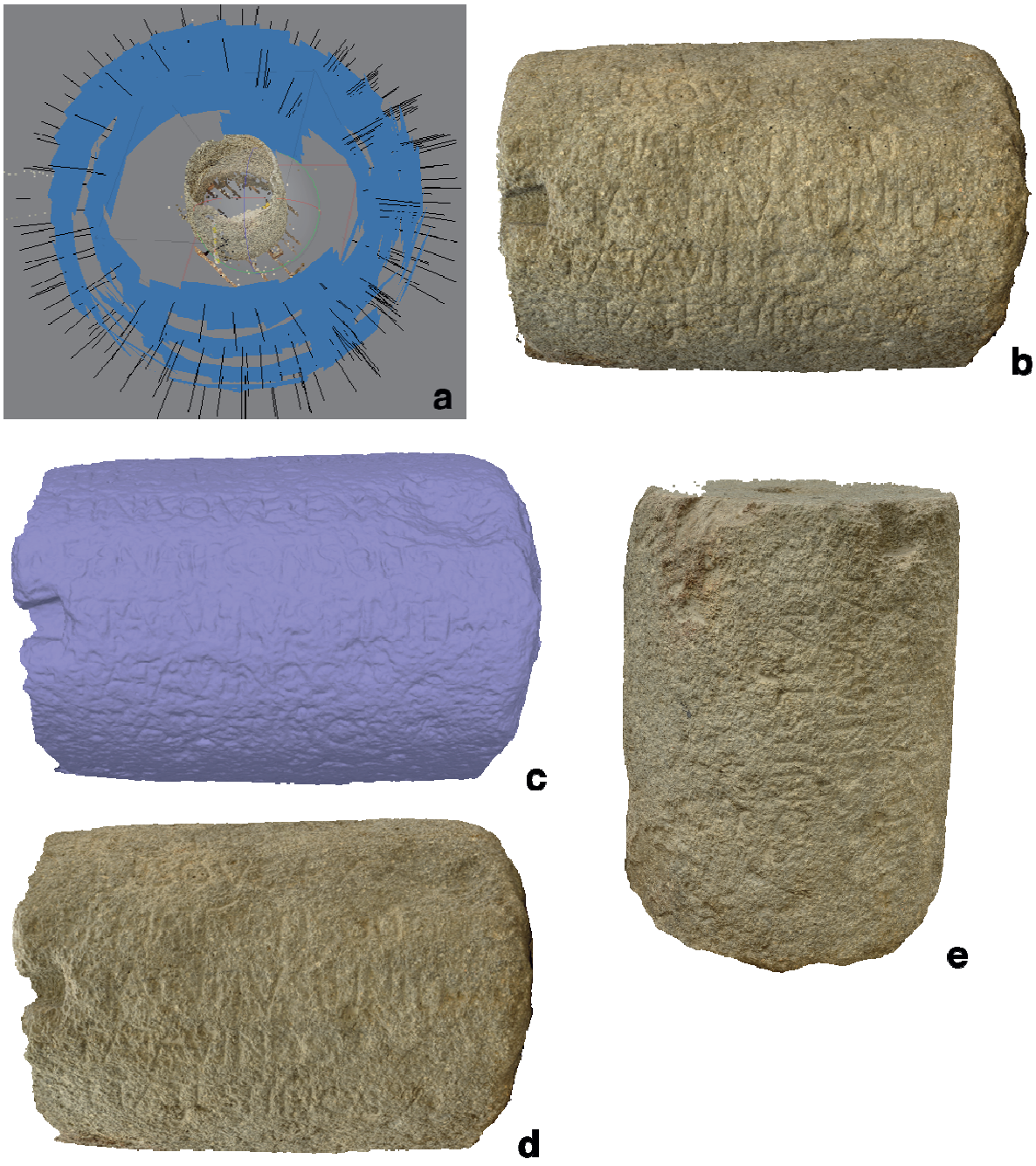


Figura 4.27. Frammento A del cippo confinario di Teolo. a) risultato dell'allineamento: nuvola non strutturata e punti di presa. Totale immagini allineate 346/347 e punti 2.043.749/2.494.859; b) nuvola di punti densa; c) mesh, *totale poligoni 1.914.580; d)* mesh *con* texture *4096 × 4096* pixel*; e) allineamento delle* mesh *con superficie iscritta.*

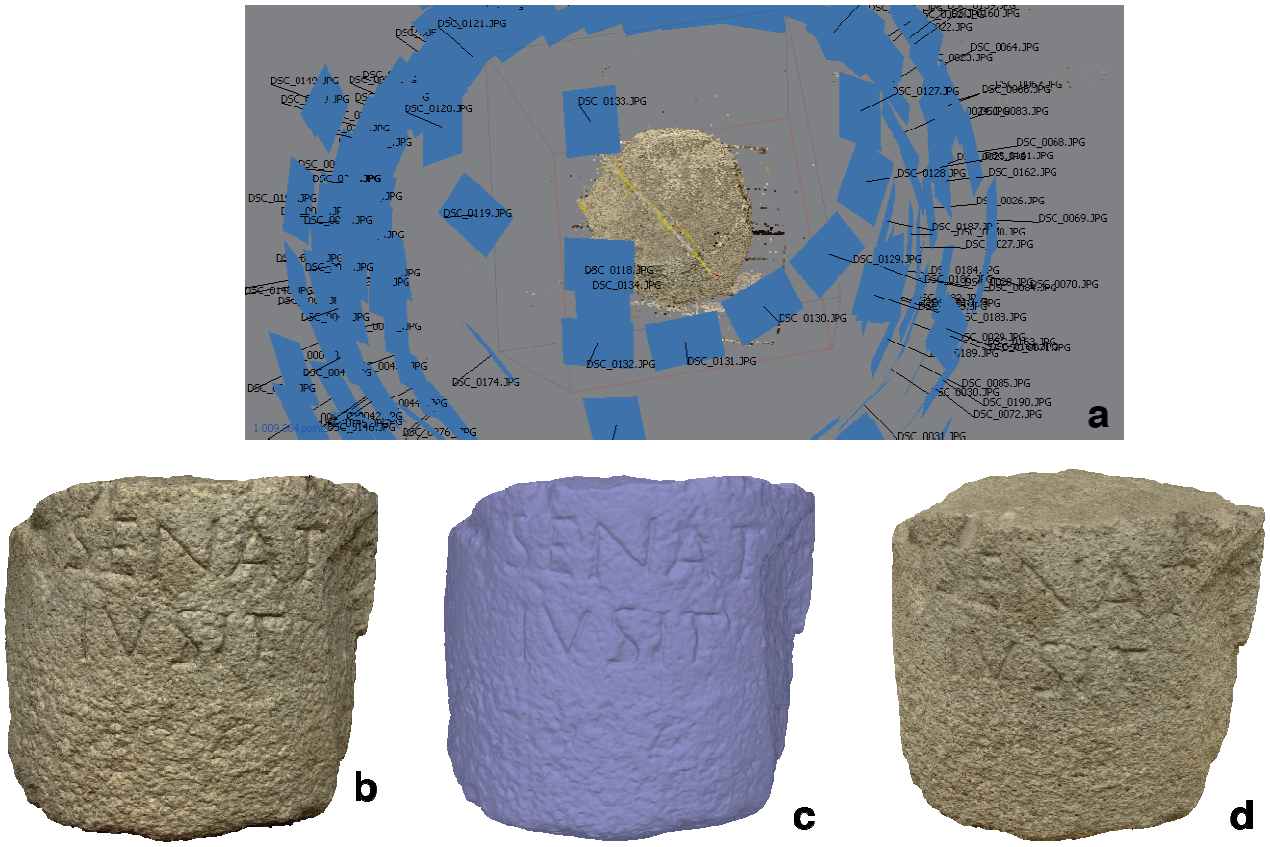


Figura 4.28. Frammento B del cippo di Teolo. a) Risultato dell'allineamento eseguito su immagini 204/204, nuvola non strutturata e punti di presa. Totale punti allineati 1.009.364/1.235.333; b) nuvola di punti densa; c) mesh *con 846.128 poligoni ; d)* mesh,*con* texture*4096 × 4096*pixel.

Con questa fase termina il lavoro sul frammento B del cippo di Teolo (fig. 4.28 d), poiché le ridotte dimensioni ed i *dataset* hanno consentito di eseguire le elaborazioni su un solo gruppo d'immagini, dove l'unica parte non restituita è la base su cui poggia il reperto, ricostruita in Geomagic Studio.
Per gli altri 3 reperti, invece, il lavoro continua in ambiente Agisoft Photoscan, dove si sono allineati i gruppi d'immagini di ciascun oggetto, combinando tra loro le coppie di punti precedentemente individuate e scegliendo un'accuratezza elevata. Allineando i diversi gruppi, si ottiene la correzione degli errori di scala, per poi procede alla registrazione ed esportare i dati in Geomagic Studio, dove con il processo di fusione, si ottiene una superficie continua (figg. 4.25 e, 4.26 e, 4.27 e).
L'iscrizione rupestre del Monte Venda ha restituito numerose lacune nella parte posteriore, poiché la forma dell'oggetto, la morfologia della superficie, la ridotta mobilità e l'illuminazione laterale hanno influenzato l'acquisizione, determinando immagini poco nitide e di scarsa qualità.
In Geomagic Studio, si è intervenuto ricostruendo la parte non restituita e la base su cui poggia il reperto.
Il cippo di Galzignano ha presentato solo qualche lacuna laterale, che non ha inciso nell'iscrizione; inoltre non sono state rilevate la base superiore e inferiore, ricostruite in Geomagic Studio. Infine, per il frammento A del cippo di Teolo, si è ricostruita solo la base su cui poggiava l'oggetto.
Dopo gli interventi di rifinitura della superficie, l'elaborazione termina in Photoscan, dove si è ottenuta un'unica *texture* per ciascun modello, da cui si ricavano ortofoto ad alta risoluzione e digitalizzazioni 2D dei testi, che consentono di condurre nuove analisi e presentare il dato con più sistemi di visualizzazione.

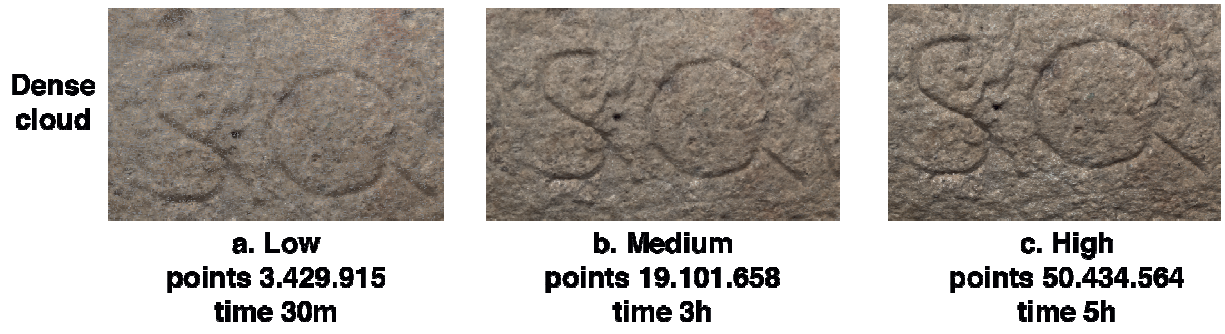


Figura 4.29. Particolare dell'iscrizione del cippo di Galzignano. Valutazione del tempo impiegato, dei diversi livelli di dettaglio e numero di poligoni, restituiti con l'elaborazione della nuvola densa, impostando differenti livelli di risoluzione, in Agisoft Photoscan Professional.

4.2.4 Risultati e visualizzazione scientifica dei dati

La metodologia ha consentito di procedere in modo speditivo e di ottenere un modello poligonale 3D (*x, y, z RGB*) accurato e con dettaglio millimetrico, per ciascun reperto (tab. 4.14). I risultati hanno restituito ortofoto ad alta risoluzione, da cui si è ricavata una digitalizzazione 2D delle incisioni, utile all'analisi dei testi epigrafici ed all'integrazione delle lettere perdute (fig. 4.30), sezioni, mappe e disegni, importanti per lo studio paleografico e filologico, nonché per interventi di conservazione e di restauro. Inoltre, l'esportazione con *Portable Document Format* (PDF) 3D garantisce una maggiore diffusione, facilità di gestione/trasmissione e consente la visualizzazione 3D interattiva.

Infine, per ciascun modello sono stati compilati gli schemi di *metadata* e *paradata*, presentati in Appendice A.

	Iscrizione rupestre del Monte Venda	**Cippo di Galzignano**	**Frammento A, cippo di Teolo**	**Frammento B, cippo di Teolo**
Dati	x, y, z RGB	x, y, z RGB	x, y, z RGB	x, y, z RGB
Risoluzione *mesh*	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm
Formato esportazione	OBJ, PLY	OBJ, PLY	OBJ, PLY	OBJ, PLY
Totale punti	1.317.556	1.473.387	957.292	453,469
Totale poligoni	2.635.104	2.946.770	1.914.580	906.934

Tabella 4.14. Risultati del rilievo e dell'elaborazione image-based.

Il dato RGB rende il risultato realistico e adatto alla presentazione (figg. 4.25 e, 4.26 e, 4.27 e, 4.28 d), ma si sono sperimentate anche altre tecniche di visualizzazione, applicate mediante algoritmi implementati in ambienti, quali Meshlab, 3D Studio Max, Rhinoceros, ecc.[31]. Tramite procedure automatiche, si selezionano gruppi di facce con il medesimo andamento morfologico, sulle superfici dei modelli, favorendo il riconoscimento delle incisioni in cattivo stato di conservazione.

Le tecniche di visualizzazione o *rendering*, basate sulla gestione dell'ombreggiatura (*shading*), sono state sperimentate in ambiente Meshlab, per poi valutare le più adatte a valorizzare i dettagli morfologici sulla superficie dei reperti.

[31]http://meshlab.sourceforge.net; http://www.autodesk.it/products/3ds-max/overview; https://www.rhino3d.com/it.

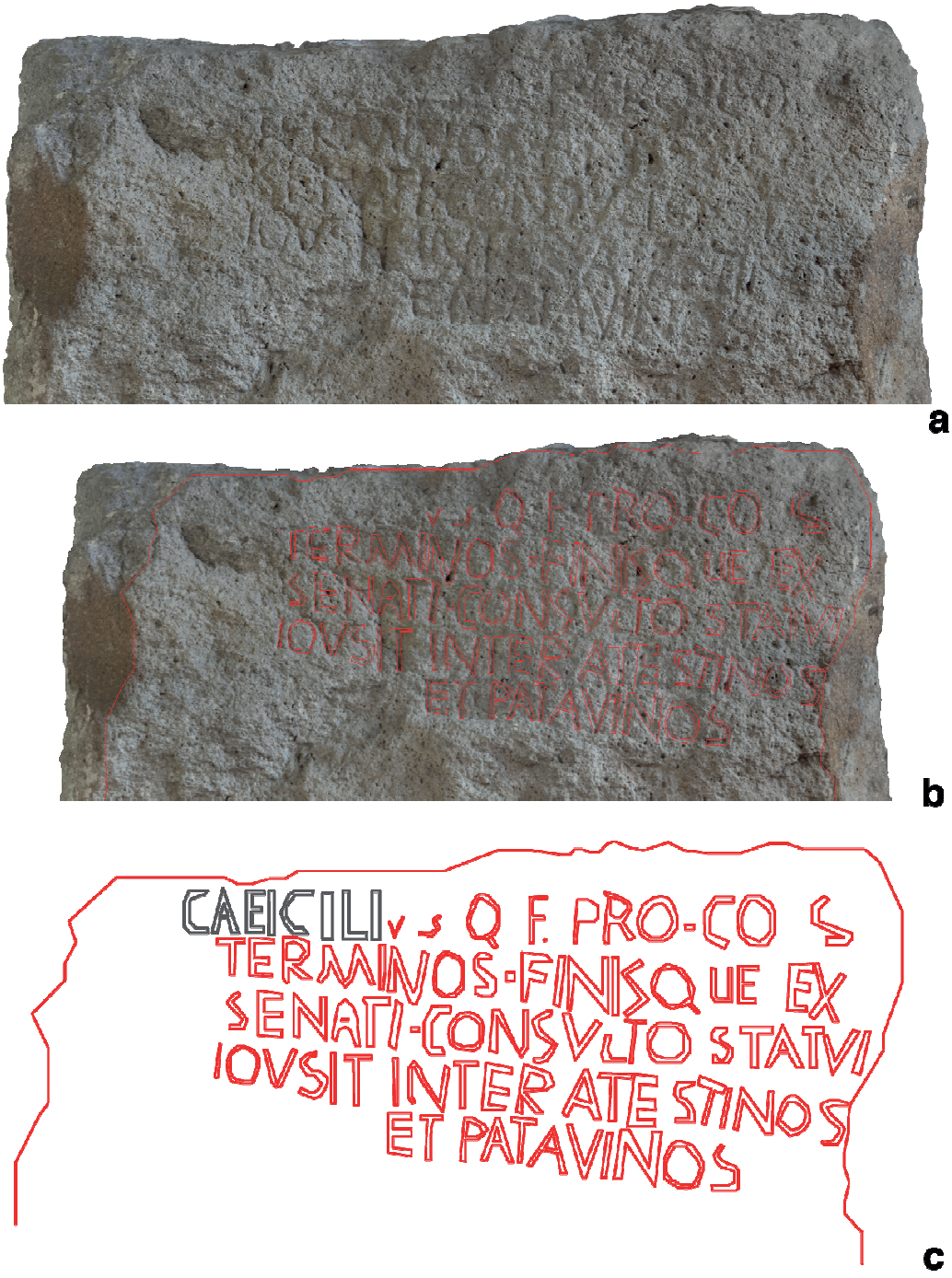


*Figura 4.30. Iscrizione Venda A. a) ortofoto con risoluzione 4096 × 4096*pixel, *si nota la difficoltà a riconoscere alcuni dei segni incisi, a causa del cattivo stato di conservazione e della tecnica irregolare d'incisione; b) digitalizzazione in ambiente CAD; c) restituzione del testo e integrazione con le lettere perdute.*

Le mappe di profondità (*depth map*)[32], in scala di grigi, evidenziano le concavità illuminandole o ombreggiandole, a seconda delle impostazioni, variando l'intensità dei *pixel* in base alla profondità del segno inciso (fig. 4.31).

La tecnica *lambertian radiance scaling*[33] simula il comportamento di una superficie ideale lambertiana, che riflette la luce uniformemente in tutte le direzioni, in base al colore e all'angolo tra la superficie e la direzione della fonte d'illuminazione. Le radiazioni luminose colpiscono le forme concave e convesse sulla superficie, ombreggiandole o illuminandole, a seconda delle impostazioni, per evidenziare i dettagli geometrici e morfologici (fig. 4.32).

L'intensità dei *pixel* e della scala dimensionale aumenta in corrispondenza all'aumentare della profondità dell'incisione, per accentuarne la visibilità; inoltre la simulazione della superficie lambertiana, ugualmente luminosa in tutte le direzioni, restituisce una rappresentazione d'immediata comprensione, rispetto alla visualizzazione *depth map*.

Le diverse tecniche di visualizzazione evidenziano la corretta morfologiadei segni incisi, consentendo di segmentare e suddividere la superficie di ciascun modello, creando gruppi distinti tra le varie lettere, per valutare le affinità stilistiche, studiare la metodologia di realizzazione e condurre analisi statistiche sui dati.

Ciascuna procedura risponde in modo diverso alle caratteristiche della superficie e l'uso combinato aiuta ad identificare gli elementi di dettaglio e le incisioni pesantemente danneggiate, facilitandone la comprensione.

L'approccio consente di superare molti dei limiti imposti dalle tecniche tradizionali (disegno diretto tramite foglio di acetato, indiretto da immagini, ecc.), restituendo un dato oggettivo, accurato e preciso anche per le epigrafi in cattivo stato di conservazione o iscritte su superfici irregolari. Inoltre, con la digitalizzazione tridimensionale, tutti i reperti sono riuniti in un unico contesto e con i diversi sistemi di visualizzazione o *rendering* è possibile comprenderne il valore semantico, confrontare i testi e creare collegamenti.

[32] BOZIA*et al*. 2014, pp. 1-12.
[33] VERGNE*et al.* 2010, pp. 1-8; HAMEEUW, WILLEMS 2011, pp. 163-178; GRANIER*et al*. 2012, pp. 417-421.



Figura 4.31. Tecnica depth map *applicata sull'iscrizione Venda A, favorisce il riconoscimento delle lettere, conservate in cattivo stato.*

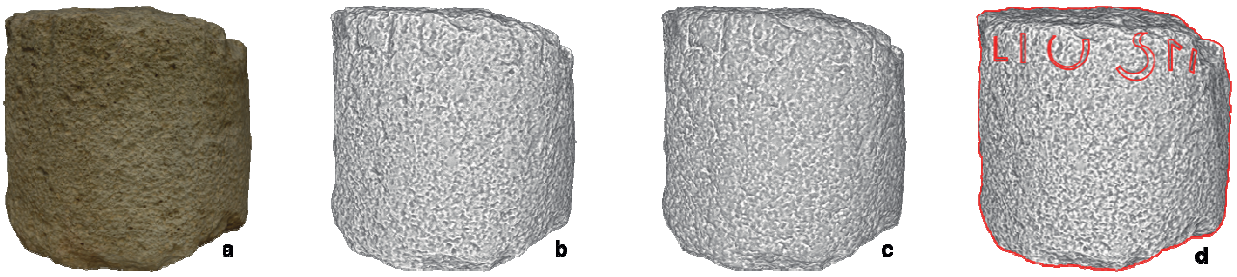


Figura 4.32. Tecnica lambertian radiance scaling *applicata al frammento B del cippo confinario di Teolo. a) modello 3D con* texture*; b)- c) visualizzazione con tecnica* radiance scaling *rispettivamente ombreggiando e illuminando le concavità dei segni incisi; d) digitalizzazione delle lettere LTO – STA, conservate in cattivo stato e facilmente individuate con le tecniche di* rendering.

CAPITOLO 5

Nuove indagini sul territorio

La ricerca, condotta sui dati territoriali, ha permesso di analizzare e riorganizzare, alla luce dei nuovi approcci metodologici e tecnici, i risultati presentati nel capitolo 2 e di considerare nuovi casi di studio per definire gli elementi naturali e antropici che hanno caratterizzato le aree esaminate, nelle diverse fasi storiche, definendone poi i rapporti spazio-temporali.

L'integrazione di più fonti di dato, in particolare la cartografia storica con il suo alto valore informativo, ha consentito di restituire un'immagine del paesaggio di fine 1700 - inizi 1800 per Montegrotto e di metà 1700 per Monteortone.

Le procedure di analisi e l'individuazione dei rapporti spazio-temporali tra gli elementi sono favorite da presentazioni multidimensionali 2D e 2.5D, utili per elaborare ricostruzioni 3D (capitolo 6). Sia i dati "grezzi" che i dati "lavorati" sono gestiti in formati che garantiscono la loro interoperabilità in differenti piattaforme *hardware* e *software* nonché la loro integrazione in sistemi di visualizzazione dinamica per una migliore fruizione e valorizzazione.

5.1 *Datasets*

Il lavoro sul territorio ha come obiettivo la gestione dei dati dell'intero comprensorio euganeoin un unico sistema, integrando i risultati delle indagini svolte su Montegrotto Terme e gli esiti delle nuove analisi condotte sull'area pianeggiante, posta a ridosso delle pendici orientali di Monteortone (Abano Terme), individuando le trasformazioni antropiche e naturali e valutando i rapporti tra gli elementi (figg. 5.1 e 5.2). L'interesse verso quest'area deriva dalla sua lunga frequentazione, iniziata con l'insediamento romano, seguito da un periodo di abbandono durante il Medioevo e da una nuova forma di occupazione nel 1428, quando un evento miracoloso determinò l'istituzione di un complesso santuariale.

Un unico sistema è, quindi, in grado di presentare, in modalità multidimensionale, dati 2D per restituire l'organizzazione spaziale degli elementi, 2.5D per evidenziare i rapporti con la geomorfologia del territorio, 3D per ricostruire ipoteticamente l'immagine del paesaggio cui collegare altri contenuti, 4D per associare anche informazioni temporali agli elementi.

La ricerca si è svolta considerando lo stato di avanzamento ed i risultati delle ricercheprecedenti[1], per poi analizzare un'ampia raccolta di dati storici, costituita da cartografia, iconografie e descrizioni, datate tra il XV sec. e il XIX sec., foto storiche degli inizi del XX sec., foto aeree, acquisite con voli GAI 1955, IGM 1984 e 1991 (IR falso colore), digitalizzate da originale in stampa fotografica, ed i voli svolti dalla Regione Veneto[2], negli anni 1981, 1983, 1990, 1997, 2008, 2009, con originale in formato digitale. A queste si aggiungono le immagini satellitari di Flash Earth e di Google Earth Pro[3], disponibili dal 2001 fino al 2015, con riprese in differenti periodi dell'anno, infine la Carta Tecnica Regionale (CTR) 1:5000 ed il DTM con celle di 5 m di lato, entrambi rilasciati come *open data* dalla Regione Veneto[4].

La cartografia storica è una ricchissima fonte di dato perché restituisce un'immagine del paesaggio prima dell'urbanizzazione; inoltre, le descrizioni storiche aiutano ad interpretare le rappresentazioni e grazie alla georeferenziazione è possibile organizzare spazialmente e cronologicamente gli elementi. Sono state analizzate carte dell'intera area euganea, datate tra il XVIII e il XIX sec., come la Gran Carta del Padovano del 1781[5], realizzata da Giovanni Antonio Rizzi Zannoni, con

[1]Per le ricerche geoarcheologiche PRIMON*et al.* 2012, pp. 55-74; per l'individuazione delle tracce antropiche BROGIOLO *et al.* 2012, pp. 15-53; per lo studio della cartografia storica Tesi di Dottorato di Ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici di E. FASSON, indirizzo in Scienze Archeologiche,*Il contributo della cartografia di epoca veneziana e di XIX secolo alla ricostruzione del paesaggio antico di Montegrotto Terme e del bacino termale euganeo,* ciclo XXVI, 2014, supervisori P. Zanovello, E. F. Ghedini; per le ricognizioni sul territorio BASSO*et al.* 2012, pp. 217-236, CERATO*et al.* 2013, pp. 393-407; infine, per una sintesi del paesaggio nella prima età imperiale romana BASSO*et al.* 2014, pp. 65-84, già presentati in § 2.3.1.

[2]http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree.

[3]http://www.flashearth.com; https://www.google.it/earth/download/gep/agree.html.

[4]http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog.

[5]Biblioteca Nazionale Marciana di Venezia, segnatura 284 C 86, tav. 17.

l'obiettivo di rappresentare l'intero territorio di Padova, inserendo alcuni importanti elementi naturali e antropici, usando la scala 1:20.000 e una triangolazione regolare.

A carattere militare è invece la Kriegskarte del 1798-1805 di Anton von Zach[6], eseguita su commissione dell'impero asburgico, dopo l'acquisizione dei domini veneziani. È accompagnata da descrizioni militari, ma non vi sono informazioni utili sull'area euganea.

Infine, si è considerato il Catasto Napoleonico del 1809-1811, caratterizzato da una maggiore precisione tecnica[7]. Successivamente, si è passati alle carte di dettaglio di Montegrotto, dove i risultati delle precedenti indagini storiche e geoarcheologiche, sono stati integrati in ambiente GIS, focalizzando l'attenzione sulla carta topografica di Salvatore Mandruzzato, pubblicata nel 1804[8], che rappresenta i maggiori nuclei insediativi, e sulla perizia tecnica di Giuseppe Maria Pivetta[9] del 1836, che restituisce graficamente il territorio tra il Colle Bortolone e S. Pietro Montagnon. Spostandosi ad Abano Terme, si è analizzata l'area pianeggiante, posta ad est delle pendici di Monteortone, la cui cartografia storica era già stata parzialmente esaminata, restituendo una classificazione di alcuni elementi, ma senza valutarne i rapporti[10]. I documenti arrivano prevalentemente da perizie tecniche, condotte sui terreni in prossimità del monastero, tra cui la rappresentazione del perito Fantello[11], disegnatore pubblico della magistratura comunale di Padova, realizzata nel 1576, che presentava il territorio a sud-est di Monteortone, tracciando il percorso del Rio dei Padri di Monteortone, canale utilizzato per la bonifica. Si aggiungono altre due perizie tecniche[12], eseguite nel 1615, che spostano l'attenzione sui terreni a nord-est di Monteortone e la tavola topografica, pubblicata da Mandruzzato, nel II volume del suo trattato[13], dove sono riportati con dettaglio gli elementi collocati a ridosso delle pendici orientali del monte.

L'approccio metodologico, basato sull'integrazione delle diverse fonti di dato, ha restituito l'organizzazione spazio-temporale degli elementi, organizzazione che è possibile presentare in modo multidimensionale con nuovi sistemi comunicativi ed educativi talora di forte impatto sul pubblico[14].

[6] Kriegs Archiv Wien, BVIIa 144, Sez. XI-17.
[7] ASVe, Comune censuario di S. Pietro Montagnone (Montegrotto Terme). Censo stabile, mappa n. 202; ASVe, Censo provvisorio di Abano, catasto napoleonico, mappa n. 123.
[8] MANDRUZZATO 1804.
[9] ASPd, Archivio Pivetta, Perizie, b. 16, fasc. 437, dis. 14.
[10] MIOTTO, ZECCHIN 2012, pp. 1-67; TURETTA 2012, pp. 277-291.
[11] ASPd, CRS, S. Maria di Monteortone, b. 5, dis. 5.
[12] ASPd, CRS, S. Maria di Monteortone, b. 5, dis. 1 e 3.
[13] MANDRUZZATO 1793.
[14] GREGGIO*et al.* 2015, pp. 429-436.

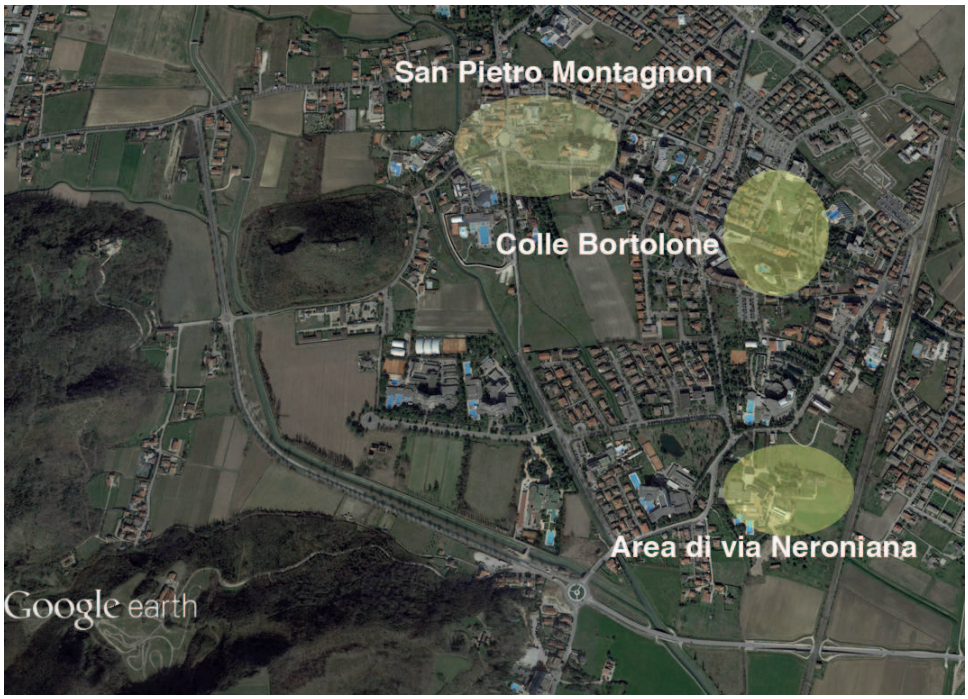


Figura 5.1. Indicazione dei principali nuclei insediativi nel territorio di Montegrotto Terme.



Figura 5.2. Indicazione dei principali nuclei insediativi nel Territorio di Abano Terme, con particolare attenzione all'area tra Monteortone e San Daniele.

5.2 Scelte metodologiche per la gestione e la digitalizzazione dei dati

Si è iniziato con l'analisi sistematica della documentazione storica: cartografia, descrizioni, iconografie, foto degli inizi del 1900 e, dalla loro integrazione in ambiente GIS, si sono ricavati elementi utili per ricostruire il contesto storico ed informazioni sulle caratteristiche geomorfologiche, naturali e antropiche del territorio.

Le carte storiche sono state digitalizzate, presso i rispettivi enti di appartenenza con acquisizione diretta, utilizzando uno *scanner* piano e seguendo gli *standard* italiani, disposti dall'Istituto Centrale per il Catalogo Unico, che includono la stesura di metadati, conformi alle linee guida indicate dal Comitato Metadati Amministrativi e Gestionali (MAG)[15]. Le dimensioni limitate hanno permesso di procedere con un'unica scansione, ad eccezione di uno dei disegni (fig. 5.13 a), frammentato in più parti e mosaicato dopo la scansione.

Per ogni carta, si è ottenuto un *fileraster* in formato *Tagged Image File Format* (TIFF), che dopo la georeferenziazione in ambiente GIS, diventa *geo(tiff)*, con risoluzione media di 300 *dots per inches* (dpi), al fine di restituire il dettaglio dei singoli elementi, il contenuto informativo, la corretta scala, geometria e radiometria. Infine, le dimensioni del *pixel* sono inferiori all'errore di graficismo di 0,2 mm, per evitare errori durante il ricampionamento.

La georeferenziazione, in ambiente GIS, ha l'obiettivo di restituire alla geometria della carta il suo contenuto metrico, correggere eventuali deformazioni e geolocalizzare gli elementi storici, per confrontarli con i dati di altri periodi e ricavare rappresentazioni tematiche e multidimensionali.

La procedura comprende una trasformazione geometrica[16], dove si calcola il migliore adattamento piano-immagine e piano-oggetto, usando i GCP, dedotti da un rilievo o da un'altra cartografia di qualità e caratteristiche note, come la CTR, usata in questo caso. Considerando le limitate estensioni territoriali, si è operato con algoritmi di trasformazione linearegloba[17], calcolando i parametri di traslazione, rotazione e variazione di scala sull'intera immagine, secondo l'algoritmo di Helmert[18] e quello polinomiale di grado 1 o affine, per poi considerare il risultato con minori deformazioni. Nel primo caso è richiesta la conoscenza di 7 parametri: 3 di traslazione, 3 di rotazione e 1 fattore di scala, dove si considerano le differenze di scala tra il *datum* di riferimento e della carta, mentre il secondo necessita di un minimo di 3 punti e permette di scalare, ruotare e traslare la rappresentazione, preservandone la collinearità.

Segue il ricampionamento, che assegna uno specifico valore radiometrico ad ogni *pixel* della nuova immagine, procedendo con l'algoritmo *Nearest Neighbour* (vicino più prossimo), dove si usa il

[15] ICCU 2006a, ICCU 2006b.
[16] BOUTOURA, LIVIERATOS 2006, pp. 60-70.
[17] Si differenziano dalla trasformazione locale, dove i calcoli sono svolti su aree specifiche della rappresentazione. BALLETTI 2006, pp. 32-42.
[18] WATSON 2006, pp. 387-394.

valore del *pixel* più vicino, mantenendo inalterati i valori radiometrici del *raster*, ma restituendo un'immagine con le coordinate degli oggetti leggermente falsate.

Gli errori della georeferenziazione sono legati ai diversi sistemi di riferimento, tecniche di restituzione grafica, rappresentazioni di scala e a misure poco corrette; inoltre i GCP sono talvolta di difficile individuazione e bisogna scegliere elementi che non hanno subito trasformazioni nel tempo, come le strutture del monastero, presso Monteortone.

Le carte di dettaglio di Montegrotto e la Gran Carta del Padovano di Rizzi Zannoni erano state georeferenziate durante le precedenti indagini; la procedura descritta è stata applicata alle carte catastali, alla Kriegskarte, alla perizia del perito Fantello e alla tavola di Mandruzzato, realizzata per Monteortone, di cui si presentano i risultati (tab. 5.1). Non è stato possibile, invece, georeferenziare le altre 2 perizie (figg. 5.13 a, b) della stessa area, a causa della deformazione delle carte e ad errori di proporzione nella restituzione grafica, probabilmente legati all'obiettivo di rappresentare le perizie tecniche, svolte sul territorio; inoltre, dalla suddivisione agricola non emergono corrispondenze con gli elementi moderni.

	Dimensioni carta	**Tipo di rappresentazione e datazione**	**Trasformazione**	**Numero punti**	**Totale RMS errore**
Kriegskarte		Rappresentazione ortogonale di tipo militare 1798-1805	Polinomiale di grado 1 o affine	6	64,6168 m
Catasto Montegrotto Terme	Singola mappa 665 × 1395 mm	Ortogonale, carta catastale 1810	Helmert	12	41,8627 m
Catasto Abano Terme	Singola mappa 665 × 1395 mm	Ortogonale, carta catastale 1810	Helmert	3	25,2 m
Carta topografica di Monteortone (Mandruzzato)	645 × 389 mm	Ortogonale con elementi scenografici 1793	Polinomiale grado 1 o affine	4	1,66231 m
Disegno 5 di Monteortone, perizia tecnica del perito Fantello	425 × 1240 mm	Ortogonale con elementi scenografici 1576	Polinomiale grado 1 o affine	4	0,103079 m

Tabella 5.1. Caratteristiche della cartografia storica e dati della georeferenziazione.

La digitalizzazione e la georeferenziazione della cartografia storica consentono la conservazione digitale del patrimonio e aprono nuove possibilità di studio e analisi sulle tecniche di rilievo e di restituzioni grafiche usate in passato, oltre a far emergere il valore semantico del documento e le informazioni storiche sul territorio.

Inoltre, è possibile eseguire confronti qualitativi sia sulle carte dello stesso periodo, poiché obiettivi e autori differenti restituiscono differenti contenuti, che su carte di periodi diversi, per individuare e classificare le trasformazioni del territorio, ampliando l'estensione cronologica ed arrivando ad integrare i dati più recenti. Tra questi, foto aeree, acquisite tra il 1955 e il 2009, utili a valutare la georeferenziazione e la corrispondenza metrica della rappresentazione storica. L'approccio è stato applicato all'interno dell'ambiente GIS, dove le diverse fonti di dato, suddivise in più *layer*, sono state sovrapposte tematicamente con un'operazione di *overlay*, valutando la corrispondenza tra gli elementi della restituzione storica e attuale, per ricavare una classificazione oggettiva, definendo la loro organizzazione spaziale, individuandone il periodo di attestazione e, in presenza di un'esatta cronologia, definendo le caratteristiche delle diverse fasi. Infine, la sovrapposizione con le immagini satellitari, acquisite dal 2001 al 2015, è avvenuta all'interno di globi virtuali (*Google Earth* e *Flash Earth*), dove si è seguita la medesima procedura applicata nel GIS.

I dati sono stati analizzati in quest'ambiente con il supporto delle descrizioni e iconografie storiche, per interpretare gli elementi del paesaggio, relazionandoli spazialmente e cronologicamente, attraverso la vettorializzazione manuale e la suddivisione in *layer* tipologici, dove a ciascuna *feature*, è stato assegnato un campo descrittivo e cronologico (fig. 5.3).

Table

idrografia_

FID	Shape *	id	Descriz	Datazion
0	Polyline	2	sorgente_acqua_calda_da_Monteortone	attestata 1576
1	Polyline	1	Rio_Padri_Monteortone	1576 attestato
2	Polyline	3	scolo_limite_est_monastero	1576 e 1793
3	Polyline	8	scolo	1793
4	Polyline	8	scolo	1793
5	Polyline	7	scolo	1793
6	Polyline	6	scolo_terreno_est_Monteortone	1576 e 1793
7	Polyline	5	scolo	1793
8	Polyline	4	scolo	1793
9	Polyline	10	digitalizzato_da_moderno_doveva_corrispondere_nel_1600_ad_una_parte_del_tracciato_del_Rio_Padri_S.Daniele	attuale
10	Polyline	14	Rialto	1576
11	Polyline	13	scolo	1576
12	Polyline	12	scolo	1576
13	Polyline	11	scolo	1576

Figura 5.3. Tabella attributi del layer *idrografia, relativo all'area di Monteortone, dove a ciascuna* feature *è assegnato un campo descrittivo e cronologico.*

L'operazione si è svolta mantenendo come riferimento gli elementi conservati, tra cui la chiesa di S. Pietro Montagnon e la vasca circolare, oggi convertita in aiuola, presso lo stabilimento di via Neroniana, a Montegrotto Terme, e le strutture del monastero, a Monteortone. Inoltre, le carte topografiche di Mandruzzato costituiscono una fonte importante per entrambe le aree, restituendo dettagliatamente gli elementi e la loro posizione. Il risultato è una rappresentazione grafica-vettoriale 2D delle entità naturali e antropiche, relazionate spazialmente e cronologicamente, che caratterizzavano il territorio di Montegrotto Terme, tra la fine del XVIII e gli inizi del XIX sec (fig. 5.4) e di Monteortone, alla metà del XVIII sec. (fig. 5.5 a).

A ciascun *layer* sono associati i relativi metadati; inoltre, come si vedrà successivamente, la digitalizzazione dei dati ed il loro riferimento metrico consentono di eseguire nuove analisi sul territorio e l'esportazione verso altri ambienti di elaborazione.

Nel GIS, ai dati vettoriali 2D, si è integrato il DTM con celle di 5 m di lato, reso disponibile dalla Regione Veneto e realizzato dal CNR di Pisa[19], usando le curve di livello e i punti quotati della Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN), da cui si è generato un TIN. Il *file* è fornito in formato *.txt,* poi convertito in *rastergeo(tiff),* e restituisce con dettaglio la corretta geometria dei principali elementi geomorfologici. Da questo si ottiene una visualizzazione 2.5D, che favorisce l'immediata comprensione e, integrando i dati digitalizzati dalla cartografia ed estrusi attraverso l'assegnazione di una quota ricavata dalle strutture ancora conservate, si sono analizzati i rapporti tra la geomorfologia del territorio e gli elementi antropici, presso Monteortone (fig. 5.5 b).

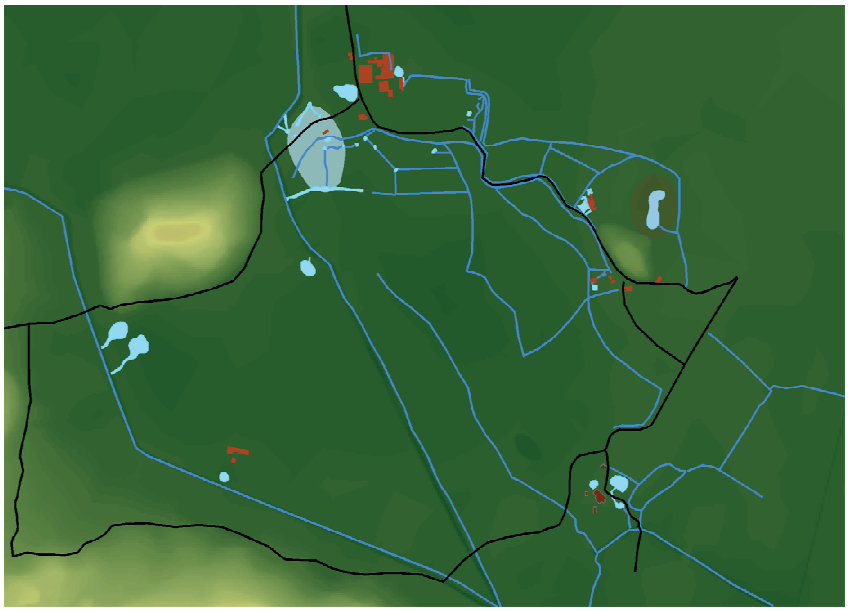


Figura 5.4. Montegrotto Terme, digitalizzazione degli elementi naturali e antropici che caratterizzavano il territorio tra la fine del 1700 e gli inizi del 1800, tra cui le numerose sorgenti, canalizzazioni e strutture sorte per lo sfruttamento della risorsa.

[19] http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog.

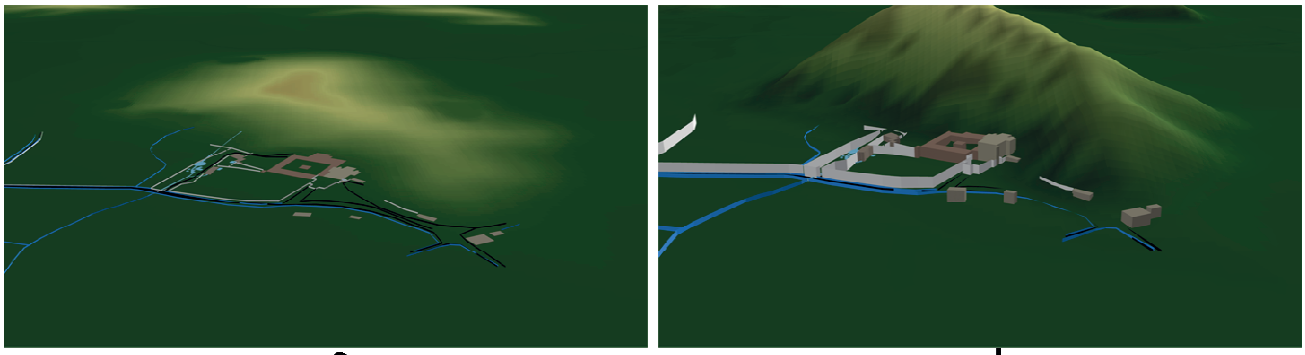


Figura. 5.5. Monteortone, digitalizzazione degli elementi naturali e antropici che caratterizzavano il territorio alla metà del 1700, tra cui sorgenti, canalizzazioni e il complesso santuariale. a) visualizzazione 2D; b) visualizzazione 2.5D, che evidenzia il rapporto tra gli elementi antropici e la geomorfologia del territorio.

Successivamente, è stato generato un nuovo DTM, con i dati vettoriali degli elementi naturali, come sorgenti e canali, non più presenti, definendo l'ipotetica caratterizzazione geomorfologica del territorio di fine XVIII – inizi XIX sec. per Montegrotto e di metà XVIII sec. per Monteortone.
La procedura comprende la conversione del *raster* in TIN e la successiva integrazione degli elementi storici con un approccio basato sulla triangolazione di Delaunay (dove si separano i bordi delle singole *features*, introducendo i punti d'intersezione tra il TIN e le geometrie delle entità suddivise, poi usate come estremi della triangolazione) ottenendo un nuovo TIN, dove si restituisce la correttezza semantica corrispondente all'esatta rappresentazione geometrica degli elementi[20].
Infine, i dati, spazialmente e cronologicamente relazionati, sono archiviati in un *filegeodatabase,* configurabile in ArcGIS[21], che archivia il *dataset* in un *file* gestito direttamente dal sistema, con le singole entità interoperabili, esportabili ed integrabili con il *dataset* del progetto *Aquae Patavinae* o altri ambienti di elaborazione.

[20]KOCH 2005, pp. 95-100.
[21]https://www.arcgis.com.

5.3 Analisi e considerazioni sui casi di studio

L'analisi e la gestione del *dataset* hanno restituito un'immagined'insieme dei territori di Montegrotto Terme (fine 1700 – inizi 1800) e Monteortone (metà 1700), da cui si ricavano importanti considerazioni sulle trasformazioni spaziali nel tempo.

Montegrotto Terme e Monteortone hanno le stesse caratteristiche geomorfologiche e insediative; inoltre appartenevano ad un unico complesso territoriale, durante l'età romana, per poi essere interessate da distinti fenomeni occupazionali, legati allo sfruttamento delle risorse e sviluppati in periodi diversi. Queste ragioni hanno spinto a trattare separatamente le aree, partendo dal confronto tra la documentazione storica e quella attuale.

5.3.1 Montegrotto Terme

Le precedenti analisi, condotte sul territorio, avevano seguito distinti filoni di ricerca, unificati all'interno di questa tesi, per restituire un'immagine d'insieme del paesaggio, tra la fine del 1700 e gli inizi del 1800, ricavando informazioni sulle sue trasformazioni e valutando eventuali rapporti con le strutture archeologiche, che in quel periodo iniziavano ad affiorare, come testimoniato dalla cartografia e dalle descrizioni storiche.

I risultati delle indagini geomorfologiche e le carte storiche sono stati inseriti nel GIS, per poi procedere alla vettorializzazione degli elementi naturali e antropici, tra cui la fitta rete di canali, collegati al Rialto e allo Spinoso, per la bonifica del territorio e le numerose sorgenti termali, che affioravano dal terreno, determinando lo sviluppo d'insediamenti in corrispondenza dei maggiori nuclei (fig. 5.4).

Tra le carte che rappresentano in modo estensivo l'area euganea, si sono analizzate la Gran Carta del Padovano, la Kriegskarte ed il Catasto Napoleonico: restituzioni oggettive e tecniche del territorio, che poggiano su una regolare triangolazione, focalizzando l'attenzione sugli elementi considerati di maggiore importanza, come le strade, i corsi d'acqua, i rilievi e gli edifici.

La prima (fig. 5.6) riporta un'immagine dettagliata dei 3 nuclei, che si erano venuti a costituire attorno alle maggiori sorgenti termali, indicando anche i toponimi ed i proprietari dei terreni. In corrispondenza dell'attuale area di via Neroniana sono collocati la piccola chiesa di S. Eliseo, di cui si parlerà successivamente, una strada che divide la grande fonte circolare e lo stabilimento Mingoni, le cui strutture sono attestate dal XIV sec., per lo sfruttamento delle risorse termali a fini curativi ed economici. In corrispondenza dell'attuale Colle Bortolone, qui indicato come *Bagni di Monte Grotto Orologio*, con riferimento ai proprietari dei terreni, vi sono solo alcuni edifici posti a sud del colle, che Mandruzzato distingue dalle altre fonti. Nell'area di San Pietro Montagnon sono

raffigurate le strutture attorno al monte, tra cui la piccola chiesa dedicata a San Pietro e l'osteria. Inoltre, sono rappresentate graficamente le aree termali presso il Colle Castello e la Torre al Lago.
La Kriegskarte restituisce un'immagine di minore dettaglio, documentando i toponimi delle aree più importanti ed evidenziando come il territorio di Montegrotto fosse caratterizzato da ampie aree paludose e da assenza di suddivisioni agricole, distinguendosi dalle aree limitrofe.
Come si vedrà nella carta di Mandruzzato, con gli inizi dell'800, il toponimo *Montegrotto* o *Monte Grotto,* passa dal Colle Bortolone all'area di via Neroniana e secondo E. Fasson, ciò è dovuto ad un decadimento d'importanza delle strutture attorno al Bortolone. Questo è attestato anche nel Catasto Napoleonico, che colloca nell'area di via Neroniana, lo stabilimento termale, la grande fonte circolare e la piccola chiesa, dedicata a S. Eliseo, cui si affianca un parziale tratteggio per indicare la strada, che attraversava l'intera area, nella carta di Rizzi Zannoni. Nell'area del Colle Bortolone, sono raffigurati solo le strutture meridionali ed uno stagno, posto a nord del monte, presente anche nella carta di Pivetta e di cui si è già individuata la coincidenza con le 3 vasche romane, scavatetra il 1781 e il 1788[22]. Infine, presso i Colli S. Pietro Montagnon, Castello e l'area della Torre al Lago sono documentati gli elementi, già visti nella carta di Rizzi Zannoni, aggiungendo una sorgente, ad est del Monte Castello, collegata al canale Rialto e attestato anche nelle foto aeree del 1955.



Figura 5.6. Biblioteca Nazionale Marciana, segnatura 284 C 86, tav. 17. La Gran Carta del Padovano di G. A. Rizzi Zannoni della Real Società delle Scienze, e Belle Lettere di Gottinga, dell'Accademia Elettorale di Baviera, di quelle di Altdorf, di Padova etc. Foglio III.Sotto il felice reggimento di S. El Kavaliere Giacomo Nani Capitanio, e Podestà di Padova Propmoteore Generoso di quest'Opera. Antonio Buttafogo scolpì, Pasquali scri. Anno 1781 circa. 1. Area di via Neroniana; 2. Colle Bortolone; 3. Colle di S. Pietro Montagnon; 4. Colle Castello; 5. Torre al Lago.

[22]BROGIOLO*et al.* 2012, pp. 15-53.

La carta topografica di Mandruzzato (fig. 5.7), pubblicata nel 1804, è una rappresentazione simbolica e si pone in un periodo di transizione delle tecniche di restituzione cartografiche, che segna il graduale passaggio dalle raffigurazioni prospettiche alle ortogonali, più oggettive. Probabilmente collegandosi a questo, Mandruzzato pone alcune iconografie del paesaggio, nella parte superiore delle sue carte, ad eccezione di Montegrotto, dove documenta alcuni reperti romani, affiorati insieme alla statua maschile in marmo bianco, in prossimità del Colle Bortolone[23]. Le descrizioni storiche, curate dallo stesso autore, aiutano ad interpretare correttamente gli elementi rappresentati e forniscono informazioni sul contesto storico-paesaggistico, sottolineando il carattere paludoso e incolto del territorio di Montegrotto ed i numerosi problemi legati ai fenomeni alluvionali; inoltre, documentano i rinvenimenti archeologici, posizionandoli nel territorio e presentando l'intera estensione di alcune strutture romane, oggi perdute, come l'edificio sopra il Colle Bortolone e la conserva d'acqua, posta sotto viale Stazione, o parzialmente conservate, come le 3 vasche, afferenti all'area archeologica di viale Stazione/via degli Scavi.

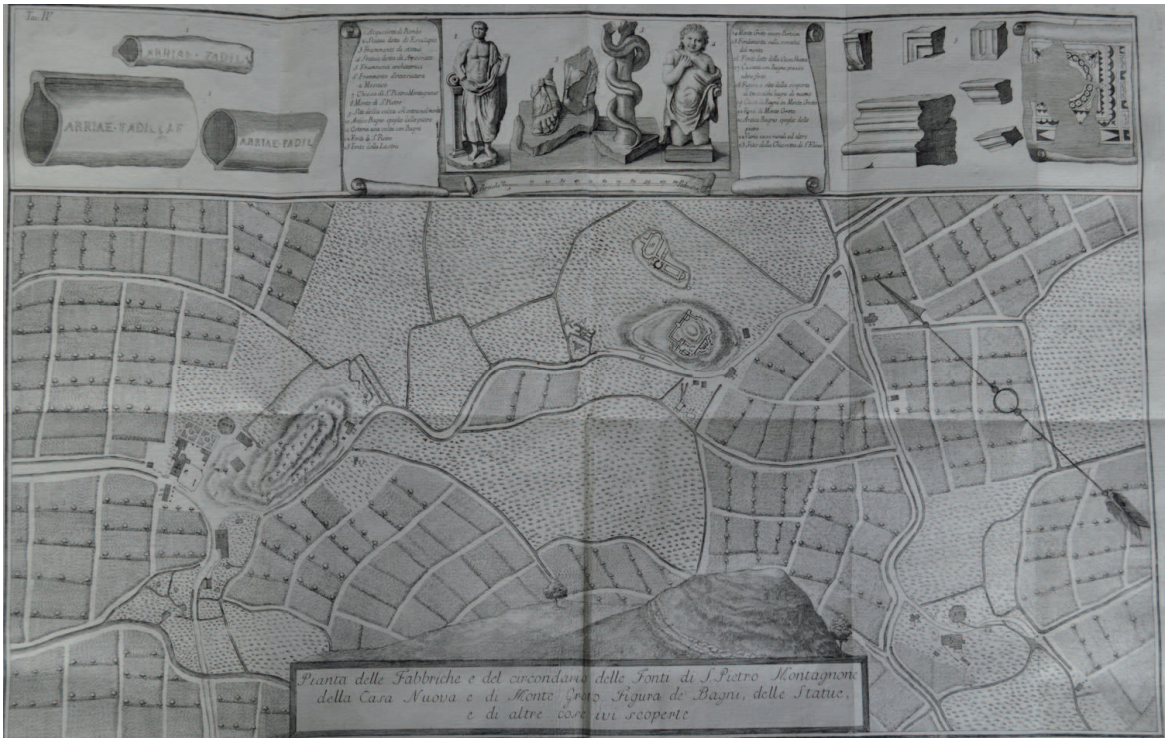


Figura 5.7.Tavola topografica di Salvatore Mandruzzato, 1804, con i 3 principali nuclei insediativi: da sinistra, l'area di S. Pietro Montagnon, il Colle Bortolonecon la collocazione delle strutture archeologiche e l'attuale area di via Neroniana. Comune di Padova – Biblioteca Civica, sezione storica.

[23]Cfr. § 2.5.1.

La carta restituisce anche un'immagine dei principali nuclei insediativi di quel periodo, tra cui l'area di via Neroniana (fig. 5.9 c), indicata col toponimo *Monte Groto*, dove sono rappresentate le strutture dello stabilimento termale, la piccola chiesa dedicata a S. Eliseo, attestata già nel 1383[24] ed una fitta rete di canali. Riguardo alle aree, in cui più recentemente sono emerse le strutture romane della villa e dell'impianto termale, non è possibile affermare con sicurezza cosa fosse presente all'epoca di Mandruzzato, a causa delle distorsioni geometriche legate alla rappresentazione. In corrispondenza dell'area della villa, si attestano una canalizzazione[25] e la suddivisione tra prato e zona agricola, mentre le strutture dell'impianto termale sono poste in prossimità dell'*Antico bagno spoglio delle pietre*, secondo la definizione di Mandruzzato, e delle strutture dello stabilimento Mingoni.

Infine, sono presenti altri canali, collegati alle polle e la strada che attraversava l'area, già vista nella carta di Rizzi Zannoni. Spostandosi verso il Colle Bortolone (fig. 5.9 b), che Mandruzzato indica come *Monte Groto ovvero Bortolon,* oltre alle strutture archeologiche, sono rappresentati a ovest del monte, i bagni della Casa Nova, edificati alla metà del XIV sec., per estrarre il sale dalle acque termali, mentre a sud, un piccolo impianto sfrutta altre fonti, già viste in precedenza. A San Pietro Montagnon, sono collocate le strutture della piccola chiesa, che Mandruzzato data agli inizi del IX sec., dell'osteria, cui erano collegati dei bagni, non conservati all'epoca di Mandruzzato, a differenza di *Un Antico bagno spoglio delle pietre*, a pianta circolare, che l'autore attribuisce a strutture antiche. Infine, l'area che collega i Colli di San Pietro e Castello (fig. 5.9 a), era caratterizzata da una fitta rete di canali e piccole sorgenti, che attestano il carattere paludoso, favorendo l'affioramento diffuso della falda freatica e creando le condizioni per un'estesa area sorgentizia, che avrebbe potuto determinare il laghetto sacro, frequentato durante il periodo protostorico[26].

Per chiudere il quadro su Montegrotto, si ricorda la carta di Pivetta (fig. 5.8), che rappresenta i fondi di proprietà del Conte Andrea Cittadella Vigodarzere, corrispondenti ad una porzione limitata del territorio, includendo solo le aree attorno ai Colli Bortolone e San Pietro Montagnon, ma restituendo con dettaglio la fitta rete di canali e sorgenti termali[27], la cui interpretazione è favorita dal dato cromatico. Attorno all'area del *Monte Bortolon* (fig. 5.9 b) sono raffigurati i bagni della Casa Nova e le sorgenti minori, poste a sud del colle, lo stagno di acqua fredda, che occupa l'area delle vasche romane e della conserva d'acqua e una piccola montagnola, già segnalata da E. Fasson,

[24]MANDRUZZATO 1804, pp. 28-29. Anche in MIGLIOLARO 1956, la chiesa è collocata in quest'area e si ritiene che l'ultimo troncone della struttura sia stato demolito verso la fine del 1800.
[25]Cfr. ZANOVELLO, BASSO 2007, pp. 19-28, dove si documenta un canale con orientamento nord-est/sud-ovest, riferibile a sistemazioni agrarie, posteriori alla villa, che tagliava il nucleo insediativo settentrionale.
[26]PRIMON*et al.* 2012, pp. 55-74.
[27]BROGIOLO*et al*. 2012, pp. 15-53.

posta in corrispondenza del teatro romano, oggi appartenente all'area archeologica di viale Stazione/via degli Scavi. Presso S. Pietro Montagnon (fig. 5.9 a) sono raffigurate le planimetrie della chiesa e di altri edifici, mentre in corrispondenza dell'attuale Piazza Roma, vi è la cava di ghiaia, già collegata da S. Primon ad un corpo sedimentario ghiaioso-sabbioso, che determina ilcarattere paludoso dell'area e l'affioramento della falda freatica.

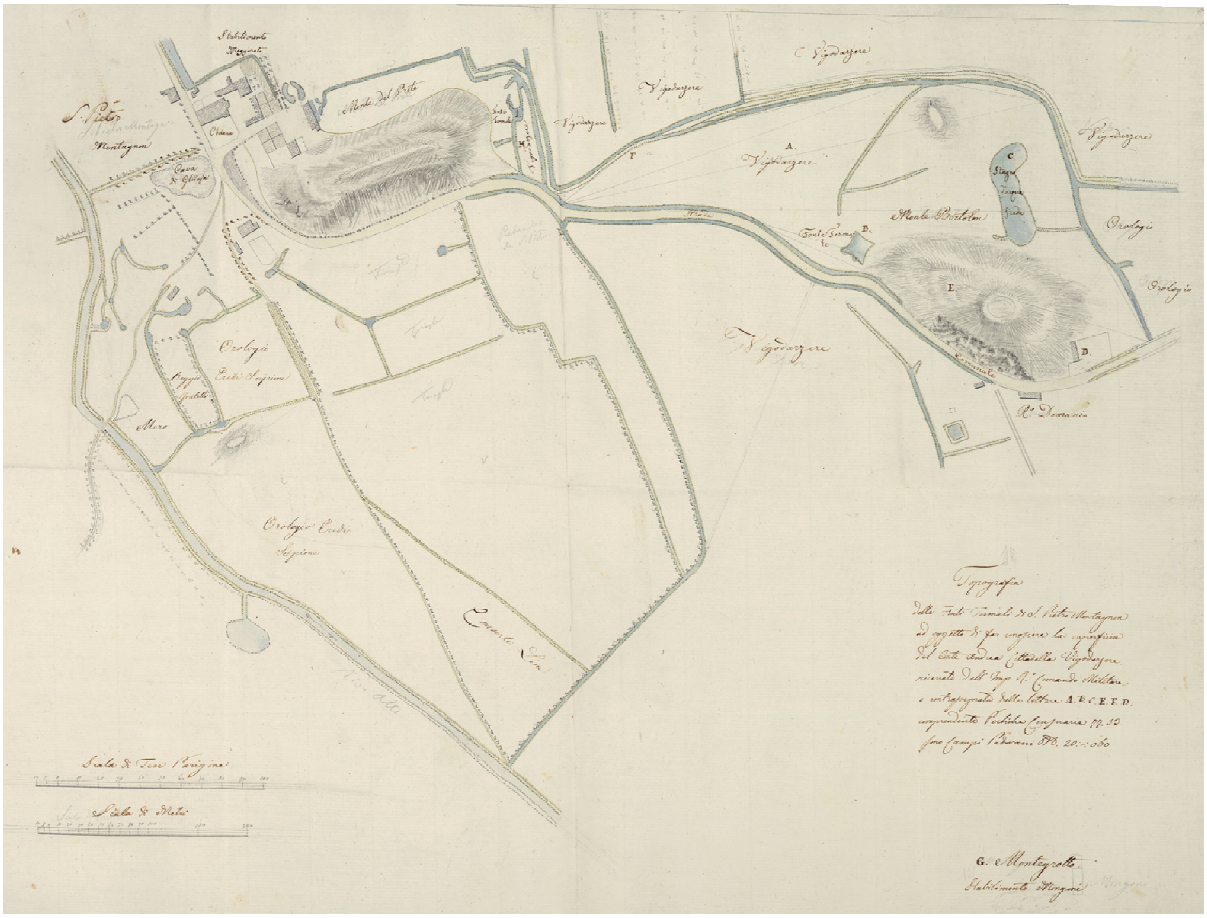


Figura 5.8. ASPd, Archivio Pivetta, Perizie, b. 16, fasc. 437, dis. 14. La carta di Giuseppe Maria Pivetta, realizzata nel 1836, rappresenta le aree attorno ai Colli S. Pietro Montagnon (a sinistra) e Bortolone (a destra).

Con i 3 volumi del trattato di Mandruzzato si sono definiti i principali nuclei termali di Montegrotto e delle altre aree sorgentifere euganee. Gli autori successivi continueranno a seguire questo impianto, presentando spesso le medesime informazioni. L'analisi delle diverse fonti storiche ha permesso di definire un'immagine complessiva del territorio e delle sue trasformazioni, evidenziandone il carattere paludoso, che lasciava filtrare l'acqua termale in risalita, generando numerose sorgenti, tra cui si ricordano le maggiori presso l'area di via Neroniana, attorno al Colle Bortolone e tra i Colli S. Pietro e Castello. Di quest'ultima sono attestate le frequentazioni sin dall'età protostorica, mentre per i primi insediamenti stabili, si deve attendere il periodo compreso tra il I sec. a.C. e il I sec. d.C. Gli stessi nuclei termali furono sfruttati anche nei secoli successivi,

con il progressivo aumento del numero degli impianti, soprattutto tra il 1800 e gli inizi del 1900, determinando le prime importanti trasformazioni sul territorio, che muterà completamente con lo sviluppo edilizio, seguito alla Seconda Guerra Mondiale[28].

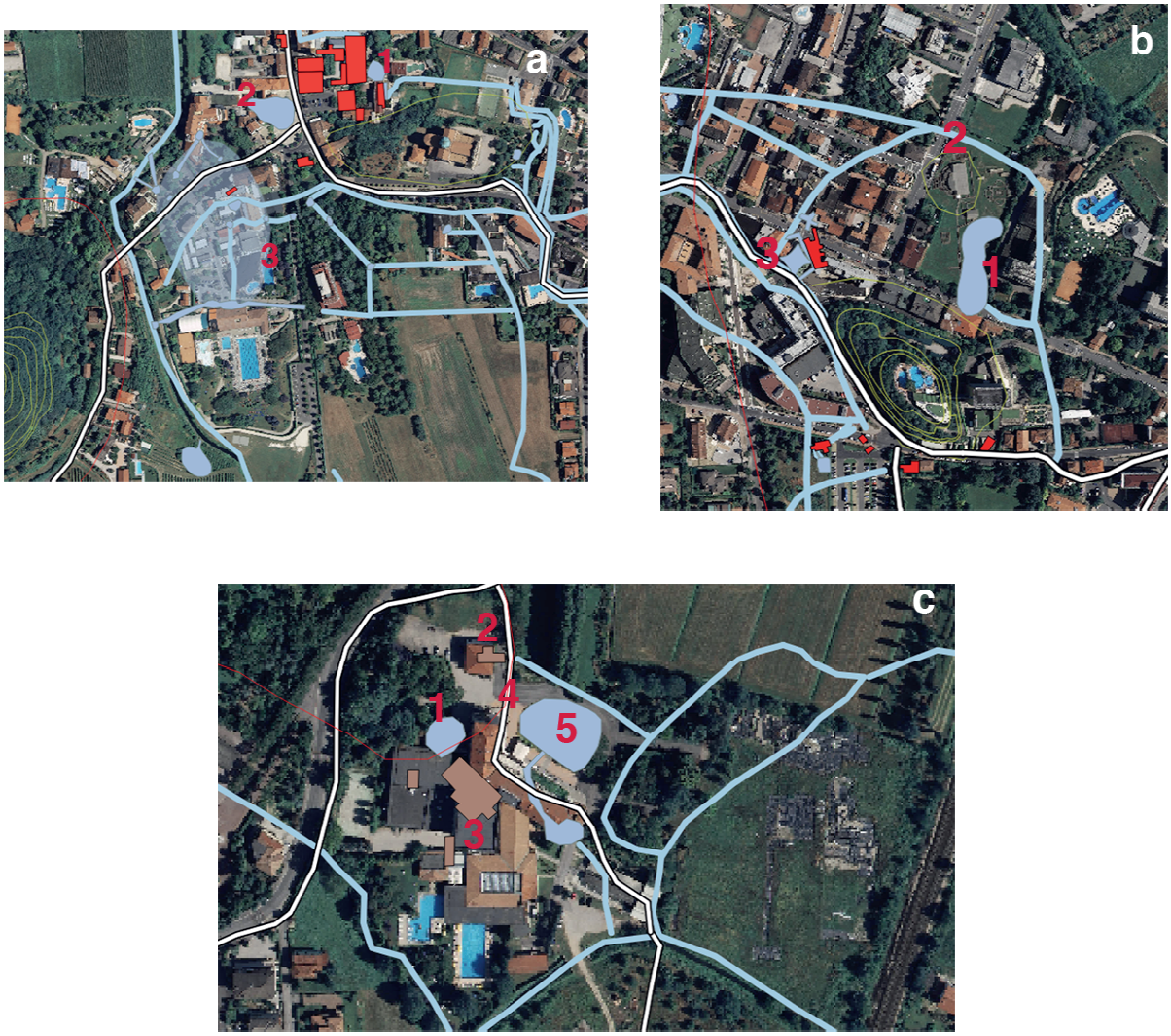


Figura 5.9. Particolare dei 3 principali nuclei insediativi (fine XVIII – inizi XIX sec.), posti a confronto con il territorio attuale. a) area tra S. Pietro Montagnon e Colle Castello. 1. antico bagno spoglio delle pietre; 2. cava di ghiaia; 3. area paludosa, con una fitta rete di canali e sorgenti; b) area attorno al Colle Bortolone. 1. stagno di acqua fredda, che copre le vasche romane; 2. Montagnola, in corrispondenza delle strutture del teatro romano; 3. bagni della Casa Nova; c) area di via Neroniana. 1. antico bagno spoglio delle pietre; 2. chiesa di S. Eliseo; 3. stabilimento termale Mingoni; 4. strada che attraversava l'area; 5. sorgenteprincipale, oggi convertita in aiuola.Foto aeree, Italian Open Data License 2.0, (http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog) Regione del Veneto - L.R. n. 28/76 Formazione della Carta Tecnica Regionale.

[28]Vd. Appendice C per immagini e dati storici di Montegrotto Terme, agli inizi del 1900.

5.3.2 Monteortone

L'analisi ha posto a confronto i risultati delle precedenti indagini[29] con i nuovi dati, ricavati dal materiale storico e più recente, integrandoli e definendo gli elementi che caratterizzarono il territorio nelle diverse epoche.

Monteortone è un piccolo colle, alto 165 m, distaccato dalla catena dei Colli Euganei e circondato da un'ampia pianura, intervallata da altre piccole alture. Si è indagata la fascia pianeggiante, che si estende per circa 1 Km dal monte, in direzione nord, est e sud, arrivando fino alle pendici di San Daniele (fig. 5.2). Fin da subito, è emersa la tendenza all'impaludamento, già vista a Montegrotto Terme e confermata, non solo dalla documentazione storica e dalle indagini svolte sulle strutture del monastero[30], ma anche dai recenti interventi operati dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione (Regione Veneto)[31].

Le prime tracce di occupazione sono datate al periodo romano e attestate da alcuni ritrovamenti, oggi non conservati, e ascrivibili a vasche termali, documentate da autorevoli studiosi, quali Vallisneri, Mandruzzato e Gloria[32], tra il 1700 e il 1800. Mandruzzato, nella descrizione storica del suo secondo trattato, interamente dedicato ai bagni di Monteortone, indica l'area di collocazione dei ritrovamenti (fig. 5.10) e sostiene una frequentazione antecedente all'evento miracoloso di Pietro Falco del 1428, avvalorata dalle testimonianze di altri autori[33]:

> ≪*X. E quanto alla prima ricerca vi ha la relazione del Celebre nostro Antonio Vallisnieri, che fu a suoi giorni testimonio della scoperta di alcuni* "bagni antichi, di reliquie di vecchi marmi, e di nobili fabbriche in quella bassa pianura, che si allarga verso l'Oriente di Monte Ortone"(Vallisneri, 1733, Opere Fisico-Medico, II,pag. 493)*, la quale basta sola a dimostrare con evidenza che anco a quella parte si dilatavano le vetustissime e nobili Terme Aponensi. Oltre a ciò sappiamo che nell'anno 1769, scavando ivi il terreno per la costruzione di un sotterraneo canaletto, che dà esito alle Termali della Vergine in un vicino fossato, furono trovate vestigia di antiche fabbriche, e li dissotterò un pezzo di acquedotto scavato nel macigno. Al contrario non è poi tanto certo che dopo le distruzioni portate dai Barbari sopra quei luoghi, e le ingiurie dei tempi, fossero le fonti di colà richiamate all'uso di Medicina molto avanti al 1428, come avvenne decisamente di quelle di tanti altri luoghi de' Colli Euganei. Con tuttociò si scorge, ch'esso fu al certo anteriore a quella età, sebben raro, leggendosi nei Tre piccoli Trattati sopra le*

[29] MIOTTO, ZECCHIN 2012, pp. 1-67; TURETTA 2012, pp. 277-291.
[30] MIOTTO, ZECCHIN 2012, pp. 1-67.
[31] http://www.consorziobacchiglione.it.
[32] VALLISNERI 1733, p. 493; MANDRUZZATO 1793, pp. 4-6; GLORIA 1862, p. 33.
[33] MANDRUZZATO 1793, pp. 4-6.

Terme Padovane di Bartolommeo Montagnana, i quali per di lui confessione sono il compendio di ciò che aveva scritto anteriormente in due voluminosi Trattati sulla materia de' Bagni, e che non giunsero sino a noi, leggendosi dico, che i Bagni di Monte Ortone, erano in minor riputazione degli altri, benché molto efficaci. Di tale scapito di essi Bagni egli ne rende ragione, dove favella in particolare di Monte Ortone, dichiarando che"propter loci silvestrem habitationem raro quæritur ejus visitatio" (Montagnana, 1564, De Balneis Patauinis, pag. 37). *Queste parole del Montagnana provano l'uso di quei Bagni prima del 1428, e poiché sono cavate da un'Opera di più vecchia data lo provano maggiormente antico; come anteriore ed antico lo comprova eziandio la gita a quei fonti di quel certo Pietro di cui fra poco ragioneremo.* ≫

Altre strutture antiche sono state attestate più recentemente, in occasione degli interventi per l'ammodernamento dello stadio, svolti tra il 1996 e il 1998, in un'area posta a circa 300 m dalle pendici orientali di Monteortone (fig. 5.10)[34]. Le prospezioni geofisiche hanno dimostrato che l'edificio doveva estendersi per almeno 5000 m^2, ma gli scavi hanno interessato meno di un quinto della superficie, datandolo all'età imperiale e restituendo una planimetria costituita da un nucleo di vani delimitato da due ali di portico (probabilmente derivato da una committenza di rango elevato). Nel corso del 2015, è iniziato lo studio dei dati di scavo da parte della Soprintendenza Archeologia del Veneto, con l'obiettivo di definire in modo preciso la datazione e la funzione dell'edificio. In un secondo momento, tramite la georeferenziazione delle strutture e dei dati geofisici sarà possibile valutare eventuali rapporti tra gli elementi delle diverse epoche e svolgere nuove analisi.

Dopo la fase romana, si registra un periodo di abbandono, che durò per tutto il Medioevo, probabilmente dovuto al carattere paludoso della zona, che non favoriva lo sviluppo d'insediamenti e le pratiche agricole, orientando le occupazioni in altri luoghi.

L'area rimase abbandonata e boscosa fino al 1428, quando il militare Pietro Falco[35] si recò nei colli per sfuggire alla peste, che in quegli anni stava flagellando Padova, e andò ad immergersi in una delle sorgenti di Monteortone. Secondo la tradizione, gli apparve la Vergine Maria che gli indicò di raccogliere dal fondo delle acque la sua immagine e di diffonderne il culto, per ottenere il perdono dei peccati e l'allontanamento della pestilenza. Pietro Falco guarì dai suoi mali e la notizia dell'apparizione si diffuse, determinando il sorgere del santuario, costituito da chiesa e monastero. Il rapporto tra queste strutture e la geomorfologia del territorio è reso evidente dalla visualizzazione multidimensionale, ottenuta con la vettorializzazione degli elementi naturali e antropici, ricavati

[34]BRESSAN, BONINI 2012, pp. 89-120.
[35]RIGHETTI 1993.

dall'analisi della cartografia storica, e la loro integrazione nel DTM, restituendo una presentazione 2.5D (fig. 5.5 b), dove si evidenzia come la parte nord-ovest del complesso poggia direttamente sulla roccia del monte, mentre le altre sorgono su un terreno di riporto, che durante i secoli subì un notevole slittamento verso valle, causando problemi all'insieme architettonico, peraltro confermato da recenti indagini[36].

L'importanza dell'area ruota attorno alle sorgenti termali, come attestano la posizione delle strutture archeologiche e la leggenda di Pietro Falco; inoltre, la cartografia storica ne presenta l'originaria estensione. L'utilizzo della risorsa ha determinato lo sviluppo di un nucleo insediativo ed una continuità occupazionale in diverse fasi storiche, come si è già visto a Montegrotto Terme.

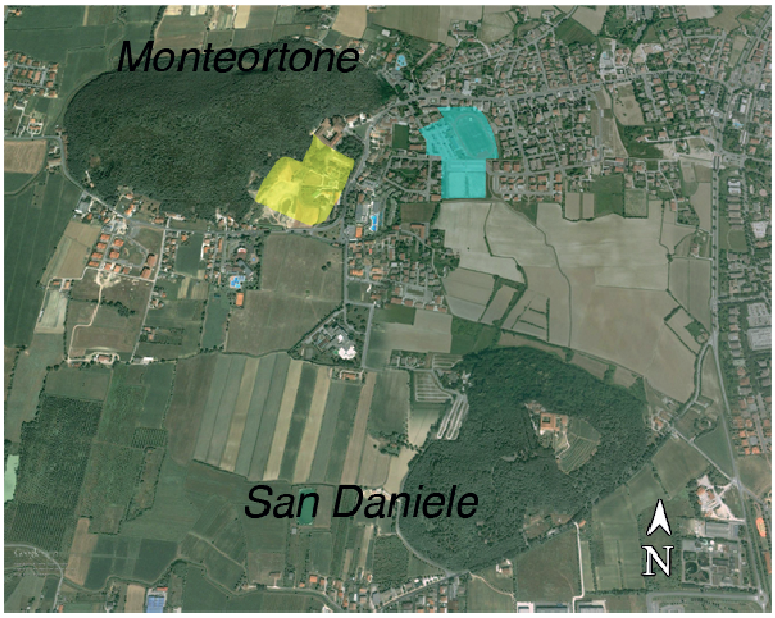


Figura 5.10. Indicazioni sulla collocazione dei rinvenimenti archeologici, presso Monteortone. In giallo, la probabile area dei ritrovamenti di XVIII sec.; in azzurro, l'estensione degli interventi di ammodernamento dello stadio, che hanno portato, tra il 1996 e il 1998, alla scoperta di strutture romane.

Agli inizi del XVI sec., si colloca la prima rappresentazione di questi luoghi, con un documento conservato presso il fondo del monastero di S. Maria di Praglia (fig. 5.11 a) e qui confrontato con un dipinto del 1782 (fig. 5.11 b), che fornisce un'immagine molto simile del territorio compreso tra Monteortone e San Daniele, nonostante la distanza cronologica. Entrambi documentano la caratteristica coltura della vite, con il vigneto disposto a festoni e abbinato ad altri alberi da frutto. Ciò è confermato anche dalle descrizioni storiche[37], che informano di un disboscamento, avvenuto tra il 1600 e il 1700, nell'area sud-orientale di Monteortone, per creare un sistema agricolo, costituito da viti e ulivi, alberi da frutto e altre piante, volto al sostentamento del monastero.

[36]MIOTTO, ZECCHIN 2012, pp. 1-67.
[37]STELLA 1923, 44-62.



Figura 5.11. Confronto tra fonti storiche: entrambe restituiscono un'immagine dei terreni tra Monteortone e San Daniele, con la caratteristica coltura della vite. a) ASPd, CRS, S. Maria di Praglia, b. 122, dis. 2, probabile datazione inizi XVI sec.; b) © Victoria and Albert Museum, London. J. R. Cozens, dipinto in acquerello di paesaggio, 1782.

Al 1576 si data la perizia tecnica del perito Fantello (fig. 5.12 a), disegnatore pubblico della magistratura di Padova; l'attenzione è focalizzata sulle canalizzazioni che percorrevano il territorio tra Monteortone e San Daniele, per poi confluire nel Rialto. Si tratta della prima rappresentazione dettagliata dell'area santuariale e sorgentifera, che appare più estesa rispetto alle documentazioni posteriori ed è collegata tramite un sistema di canalizzazioni al Rio dei Padri di Monteortone, funzionale al deflusso delle acque termali ed alla bonifica dei terreni, che va a confluire nel Rio dei Padri di San Daniele. Quest'ultimo s'immette nel Rialto, che a sua volta termina nel canale Battaglia.

Il percorso è documentato anche in un disegno di Giulio Zaroni del1660[38], che rappresenta gli affluenti del canale Battaglia, confermando come una *fossa calda viene dalli bagni di Mont'Ortone*, dopo essere confluita nel Rialto.

Si tratta di una rappresentazione ortogonale, con alcuni elementi in prospettiva, dove, individuando le corrispondenze tra i punti sulla carta e gli elementi attuali, si è ottenuta la georeferenziazione che ha evidenziato la vicinanza tra il Rio dei Padri di Monteortone e l'area interessata dagli interventi svolti sullo stadio, tra il 1996 e il 1998, con la scoperta delle strutture archeologiche (fig. 5.12 b).

[38]ASPd, Fondo Acque, b. 14, dis. 2.



Figura 5.12. ASPd, CRS, S. Maria di Monteortone, b. 5 dis. 5. Perito Fantello, disegnatore pubblico della magistratura comunale di Padova, 1576. a) canalizzazioni tra Monteortone e S. Daniele, in particolare il Rio dei Padri di Monteortone, cui si collegano le sorgenti, tramite un attraversamento sulla strada, e numerosi canali minori. Sono indicati anche gli interventi da compiere per la manutenzione; b) la georeferenziazione della carta attesta la vicinanza tra il Rio dei Padri di Monteortone e l'area dei rinvenimenti archeologici del 1996-1998, evidenziata in rosso.

Seguono altre perizie tecniche (figg. 5.13 a, b), non georeferenziate, come spiegato in precedenza, ma utili per presentare la suddivisione delle proprietà agricole poste a nord-est del monastero. Queste riportano alcuni toponimi, come *palù*, che richiama il carattere paludoso, e *pra*, probabilmente prati utilizzati anche oggi per trattenere l'acqua in caso di forti piogge.

La digitalizzare e l'analisi in ambiente GIS hanno evidenziato alcune aree soggette a depressione e con tendenza all'impaludamento (fig. 5.13 c).

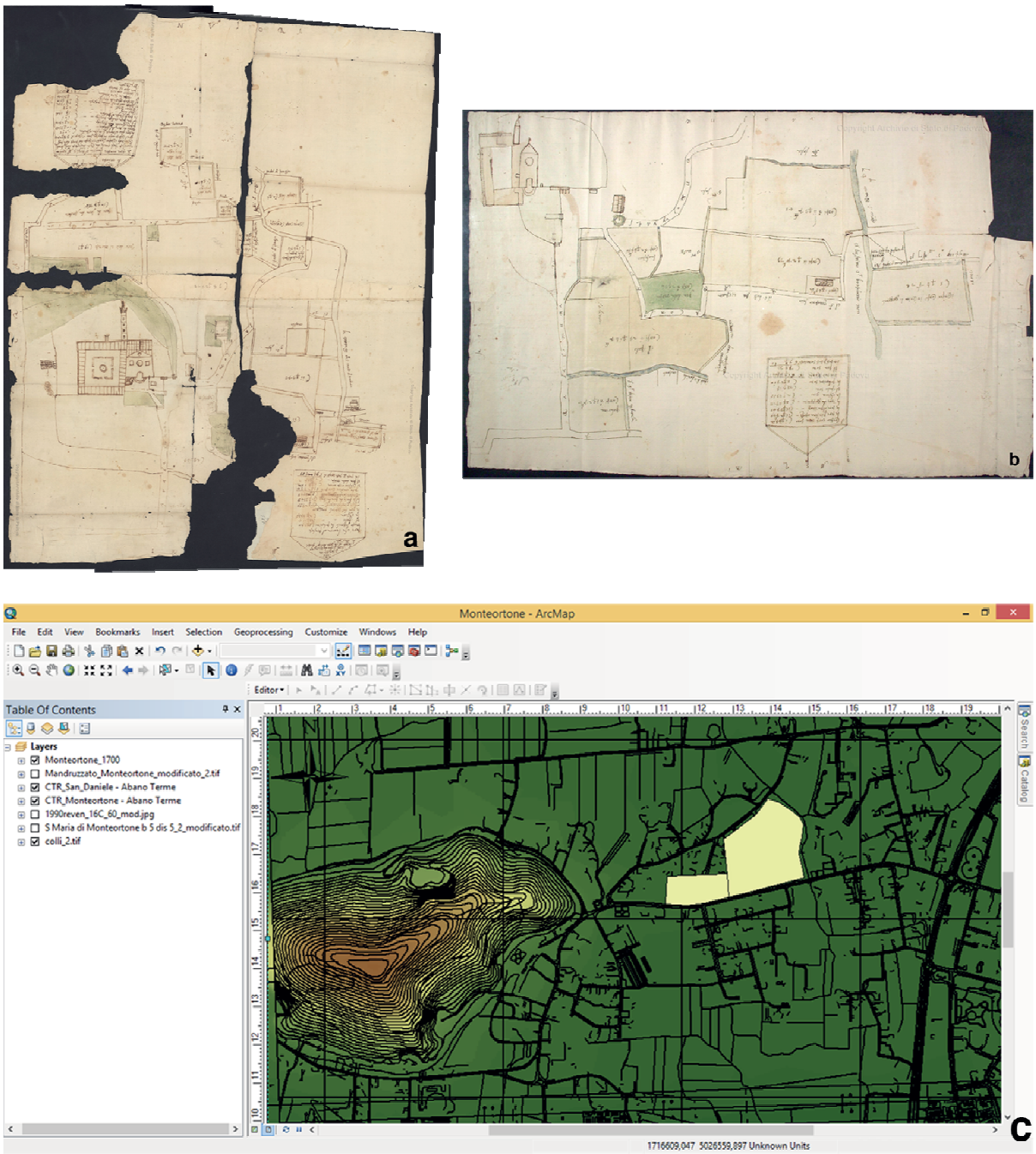


Figura 5.13. ASPd, CRS, S. Maria di Monteortone, b. 5, dis. 1 e 3. a)- b) 1615, perizie tecniche, sui terreni a nord-est del monastero; c) le aree paludose attestate sono digitalizzate nel GIS.

Successivamente, si passa alla tavola topografica di Mandruzzato (fig. 5.14), pubblicata nel secondo volume del suo trattato del 1793, dove, come già visto per Montegrotto, vi è una restituzione dettagliata e simbolica, accompagnata da iconografie paesaggistiche delle aree rappresentate ortogonalmente e da una legenda, che spiega gli elementi raffigurati.

Sono presenti il complesso santuariale, gli edifici rurali e l'osteria; inoltre l'autore indica come *orto e brolo, cinto di mura*, tutta l'area che circonda il monastero, riferendosi a coltivazioni praticate dai

monaci, per il loro sostentamento. Mandruzzato indica con il termine *fonteghette* l'area sorgentifera, restituendo fonti di varia estensione, in parte conservate; inoltre, rappresenta edifici per l'uso dei bagni ed il sistema di canalizzazioni, usato per il deflusso delle acque calde. Non è presente il collegamento, visto in precedenza, con il Rio dei Padri di Monteortone ed in corrispondenza dell'attraversamento stradale è segnato solo un tratteggio. È probabile che il canale sia stato interrato nella parte antistate la strada, per riprendere più ad est, come sembra emergere dalle foto aeree del 1955.

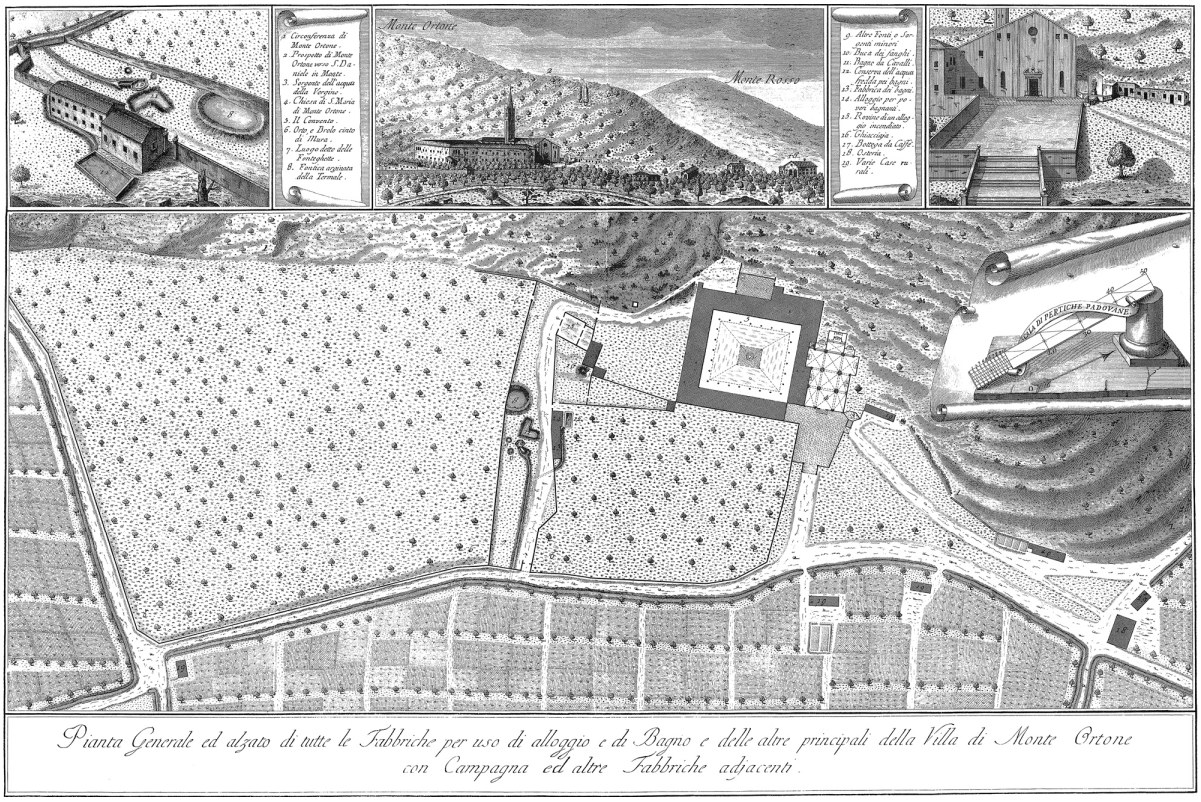


Figura 5.14. Tavola topografica di Salvatore Mandruzzato, 1793. Sono rappresentati con dettaglio gli elementi naturali e antropici, tra cui le strutture del complesso santuariale e la vasca circolare per i bagni, ancora conservate. Comune di Padova – Biblioteca Civica, sezione storica.

Per chiudere il quadro su Monteortone, si passa alle rappresentazioni, che restituiscono in modo estensivo l'intera area termale, tra cui la Gran Carta del Padovano di Rizzi Zannoni, dove si conferma quanto visto nelle raffigurazioni precedenti; la Kriegskarte, che non riporta elementi di dettaglio, ma evidenzia il carattere paludoso dell'area sorgentizia e documenta la suddivisione agricola dei terreni, usando il simbolo del campo a seminativo con vigneto fitto, collegandosi alle attestazioni, viste in precedenza (figg. 5.11 a, b). Infine, il Catasto Napoleonico segnala la presenza del santuario e delle sorgenti, senza fornire maggiore dettaglio.

Le immagini e le descrizioni storiche hanno evidenziato il ruolo centrale delle sorgenti termali, attorno alle quali si sono sviluppati i nuclei insediativi, in diversi momenti storici, per l'utilizzo della risorsa. Emergono numerose analogie con il territorio di Montegrotto, tra cui il carattere paludoso e le soluzioni adottate per affrontare il problema, creando un sistema di canalizzazioni per la bonifica e impiantando colture molto simili. Nella prima metà del 1900 il paesaggio è ancora caratterizzato da una fitta vegetazione, alternata alle pratiche agricole (figg. 5.15 a, b), che dovevano interessare anche i terreni, in cui si collocano i rinvenimenti archeologici del 1996-1998, già occupati dalle strutture dello stadio nel 1955, come documentano le foto aeree.

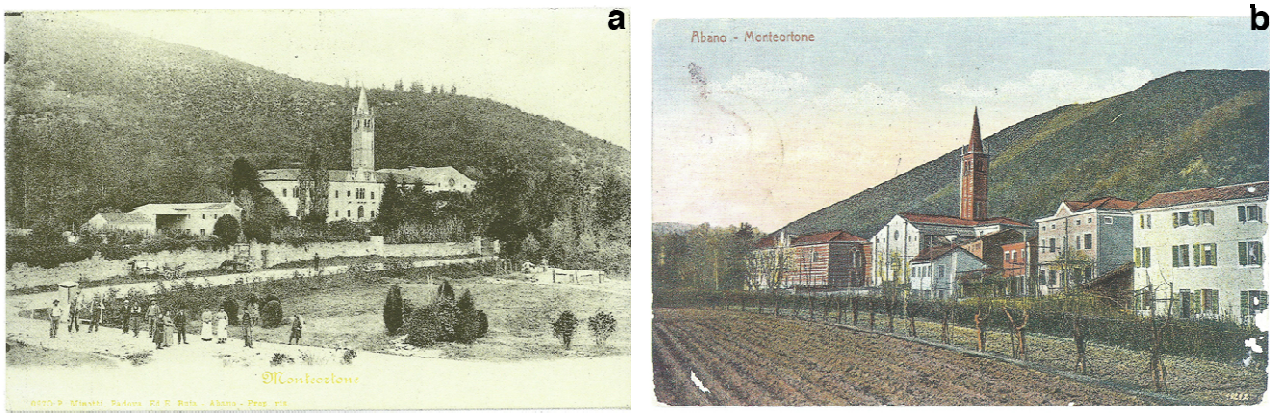


Figura 5.15. Immagini storiche di Monteortone (www.albumdiabano.it). a) edizioni E. Bugia, Merlin – Selmin, 1918. Nello sfondo: Monteortone, il complesso santuariale e gli edifici adibiti ai bagni, conservati ancora oggi; in primo piano, i terreni immediatamente ad est della strada principale; b) edizioni Ragusa A. Bugia, Merlin-Selmin, 1923. Complesso santuariale, chiuso a nord da altri edifici; ad est, sfruttamento agricolo del terreno.

CAPITOLO 6

Integrazione dei dati e nuove soluzioni per la valorizzazione

La digitalizzazione dei Beni Culturali, che è funzionale alla documentazione, allo studio ed alla pianificazione d'interventi di restauro e di tutela si basa oggi sull'integrazione di più fonti di dato per accrescere il livello di dettaglio. Quest'approccio risulta essenziale anche e soprattutto nell'ambito della valorizzazione, attraverso l'inserimento in portali *web* o nei nuovi sistemi tecnologici usati in ambito espositivo, per presentare l'oggetto e la sua complessità legata al valore semantico, ovvero le caratteristiche geometriche, materiche, il significato storico-culturale, il collegamento con altri reperti o contesti. Emerge, però la necessità di allinearsi al contesto espositivo, alle caratteristiche dell'oggetto ed alle nuove forme di comunicazione. Tra le soluzioni proposte, si stanno affermando e diffondendo i *serious games*, che creano un'esperienza definita *edutainment*, in grado d'intrattenere e divertire al tempo stesso.

Il sistema è strutturato in più livelli informativi, usati come riferimento per le sperimentazioni, che si presentano nei paragrafi successivi:

1. il primo livello, costituito dal dato digitalizzato comprende un modello 3D completo e con *texture* che restituisce la geometria dell'oggetto, le caratteristiche e le proprietà materiche; inoltre è possibile ricavare informazioni sulla datazione, sulla tecnica di lavorazione, sull'ambiente storico-culturale, ecc.;
2. nel secondo livello, il dato è collocato all'interno di un contesto, comunicando in modo immediato informazioni storico-culturali e rendendo il messaggio facilmente decodificabile;
3. nel terzo livello sono aggiunti altri contenuti informativi, per spiegare il significato del reperto e collegarlo ad altri oggetti o contesti;
4. il quarto livello è determinato dall'interfaccia interattiva, che indica la modalità con cui l'utente interagisce con il bene culturale e mira a creare un'esperienza personale, immersiva ed emozionale,per favorire l'apprendimento.

6.1 Statua maschile in marmo bianco: dal modello 3D alla valorizzazione

Nel seguito, si completa la modellazione della statua maschile in marmo bianco, integrando i dati acquisiti con sensori attivi e passivi. La procedura ha sfruttato le potenzialità di ciascun sistema, ha esteso la copertura spaziale del rilievo per evitare lacune e restituire così un modello 3D, completo e con *texture*, che simula l'oggetto reale e aumenta il livello informativo del *dataset*.

Successivamente, considerando i risultati degli studi interpretativi storico-archeologici condotti sul reperto, la realtà virtuale è stata usata per simulare l'ambiente antico che probabilmente ospitava la statua, avvalorando il messaggio comunicativo e informativo; inoltre l'elaborazione è stata integrata all'interno di un sistema di realtà aumentata, sperimentando così alcune interfacce interattive.

6.1.1 Integrazione tra tecniche image-based e range-based (sensor fusion)

Generalmente sono riconosciuti 3 diversi livelli di fusione o integrazione[1]: basso (*data fusion*), si riferisce alla combinazione di differenti fonti di dato "grezzo" (*raw data*), perottenere nuovi datiinformativi e rappresentativi; un livello intermedio (*feature level fusion*), che combina gli elementi di differenti fonti di dato "grezzo"; un livello alto (*decision fusion*), cheinclude il metodo statico e di logica *fuzzy*[2]. Più recentemente, si è proposto di dividere i livelli, basandosi sugli obiettivi della fusione e distinguendo tra livello "grezzo", dove nuovi dati sono elaborati da fonti di dato "grezzo"; livello medio, che relaziona i dati esistenti; livello alto, dove si ottiene un modello 3D completo e con *texture*, basato sul tipo di dato, distinto tra punti, elementi e superfici, e riferito alla trasformazione dimensionale, durante l'elaborazione: da 3D a 3D, da 2D a 3D e da 2D a 2D[3].

Considerando gli obiettivi, presentati nel capitolo 4, si è proceduto integrando le superfici 3D, ottenute con sensori attivi e passivi, per elaborare un modello completo e con *texture*, misurabile, in scala 1:1, facilmente gestibile ed esportabile verso altri ambienti.

Si è definito il sistema di coordinate spaziali e si è scelta la *mesh* della base moderna, ottenuta con tecnica *range-based* e correttamente orientata nello spazio 3D, come riferimento per la rototraslazione del modello fotogrammetrico. Non è necessario l'uso di GCP per l'orientamento all'interno di un sistema locale, poiché si lavora alla scala dell'oggetto. L'allineamento delle fasce di acquisizione del *laser scanner* con i dati fotogrammetrici è stato ottenuto seguendo la procedura, descritta nel capitolo 4 per le *range map*, e considerando interamente i dati dello *scanner*, che rappresentano con dettaglio e correttezza le complessità geometriche delle parti frontali e laterali; per i dati *image-based* si sono selezionate le parti laterali e posteriori, in modo da colmare le

[1] BASTONERO*et al.* 2014, pp. 73-80.
[2] Il metodo permette ad un *computer,* che generalmente restituisce un dato preciso e oggettivo, di modellare il mondo reale seguendo la procedura applicata dalle persone, che forniscono un dato generico e soggettivo.
[3] RAMOS, REMONDINO 2015, pp. 359-363.

eventuali lacune del rilievo, non avere triangoli sovrapposti e limitare il rumore, restituito dal processo di fusione[4]. Alle acquisizioni dello *scanner* ed alla superficie fotogrammetrica è stata integrata la ricostruzione del lato posteriore della base moderna, non rilevabile, a causa della mancanza di spazio fisico, e modellata, basandosi sulla parte frontale, escludendo l'iscrizione. Le coppie di punti omologhi sono state individuate lungo il perimetro di ciascuna superficie poligonale, usando *mesh* in falsi colori, per poi procedere con l'applicazione del metodo ICP e ottenere una prima rototraslazione e ottimizzazione dell'orientamento dei dati *image-based*, cui segue la registrazione globale di tutte le *mesh*, con valori di distanza media di 1,564 mm e di *standard deviation* di 3,144 mm (fig. 6.1). Questi valori sono dovuti alla distorsione di alcune parti della superficie posteriore, legata alla limitata mobilità in fase di rilievo e ottimizzata durante la restituzione.

Segue il processo di fusione delle superfici 3D, acquisite con sensori attivi e passivi e ricostruite nelle parti escluse dal rilievo. Le fasce di acquisizione dello *scanner* non sono ancora state unite per limitare gli interventi sulle *mesh* e preservarne i dettagli. Si è intervenuto nel processo di fusione, definendo i parametri di riduzione del rumore locale, registrazione globale, impostando il numero massimo di triangoli del modello e la qualità della *mesh*. Viene così restituita una superficie poligonale continua (fig. 6.2), che unisce il lato frontale e posteriore della statua, chiude molte delle lacune ed elimina i dati ridondanti. Alcune parti restano incomplete e altre sono caratterizzate da rumore ed errori topologici, localizzati soprattutto nei punti di congiunzione tra il fronte, il retro e nelle pieghe dell'*himation*. Si è proceduto con algoritmi semiautomatici di riparazione, disponibili in ambiente Geomagic Studio, intervenendo: sui bordi condivisi da più di due triangoli (*non-manifold face*); sulle autointersezioni (*crossing face*) determinate da facce che s'intersecano con la *mesh*, senza connettersi a nessun nodo di essa; sugli spigoli di piegatura elevata creati fra triangoli adiacenti; sulle punte generate da 3 o più triangoli in una zona prevalentemente liscia; sui poligoni non legati alla *mesh*; sui piccoli *tunnel*. Si è proseguito con la ricostruzione delle lacune, applicando algoritmi semiautomatici, ma nelle aperture più ampie si è operato manualmente, allungando i tempi di elaborazione e ponendo maggiore attenzione alle parti con andamento curvo e procedendo in modo più speditivo per le superfici planari. Successivamente, si è ridotto drasticamenteil rumore, calcolando lo spostamento dei punti nelle posizioni statisticamente corrette e basandosi su superfici con forme libere, ovvero rispettando le curvature ed impostando un limite di deviazione massimaed il livello di levigatezza. Infine, la superficie è "lisciata", evitando alcune parti come gli spigoli, per preservarne la corretta geometria. I maggiori interventi hanno riguardato la ricostruzione di alcune aree posteriori, di aree parzialmente coperte e di sottosquadri.

[4]EL-HAKIM*et al.* 2002, pp. 13-18.

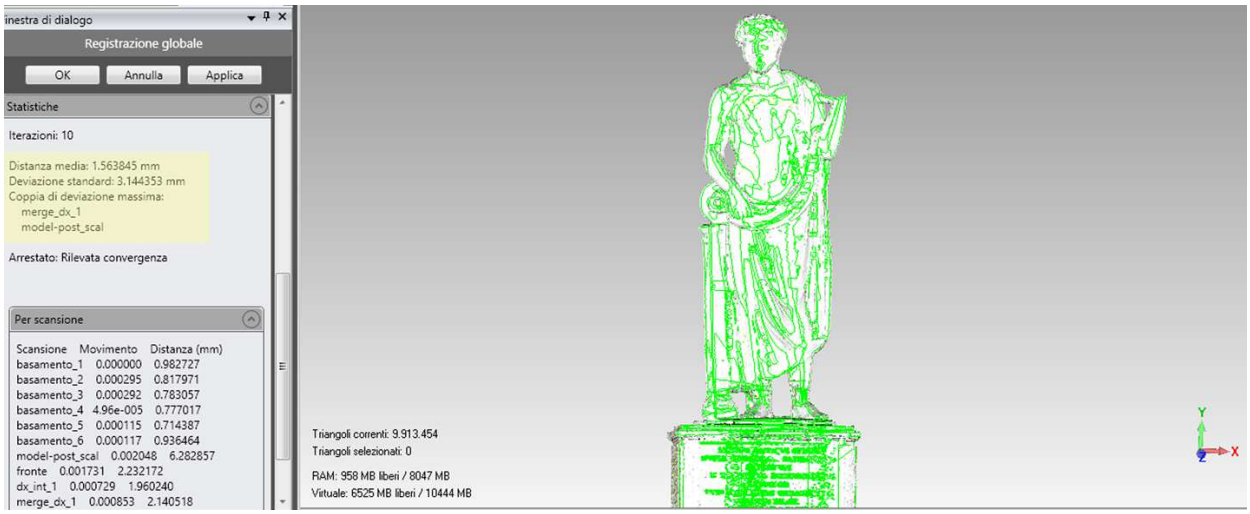


Figura 6.1. Allineamento globale dei dati range-based *e* image-based*in ambiente Geomagic Studio. Sono indicati i valori di distanza media (1,564 mm) e di* standard deviation *(3,144 mm).*

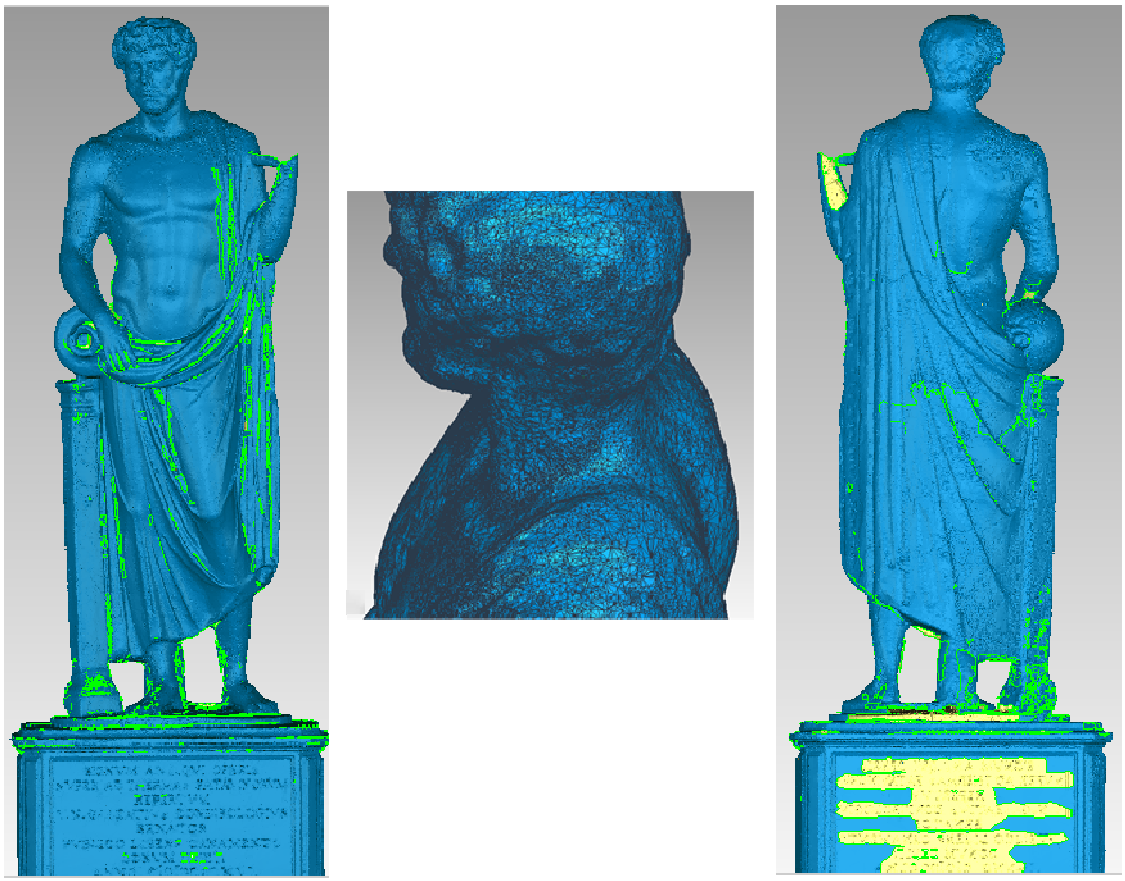


Figura 6.2. Modello geometrico ottenuto dalla fusione dei dati range-based *e* image-based*. Si presentano le parti frontale e posteriore della statua e una delle aree di congiunzione, visualizzata in* wireframe*, per evidenziare la continuità tra le superfici.*

Il risultato è il modello 3D poligonale e completo della statua, che ha mantenuto il dettaglio millimetrico e l'accuratezza dei *datasets* di partenza (fig. 6.3 e tab. 6.1).

Successivamente, si è proceduto alla decimazione (cosiddetta intelligente), utile per l'esportazione e la gestione verso altri ambienti e sistemi. Nello specifico è applicata alle zone planari della superficie, rappresentabili correttamente anche con un numero minore di triangoli, preservando però la curvatura nelle altre zone.

Dati	x, y, z RGB
Formato esportazione	OBJ, PLY
Risoluzione *mesh*	0,2 mm
Totale punti	952.509
Totale poligoni	1.895.026
Poligoni, modello decimato	321.102

Tabella 6.1. Dati sintetici relativi al modello, ottenuto dall'integrazione dei dati range-based *e* image-based.

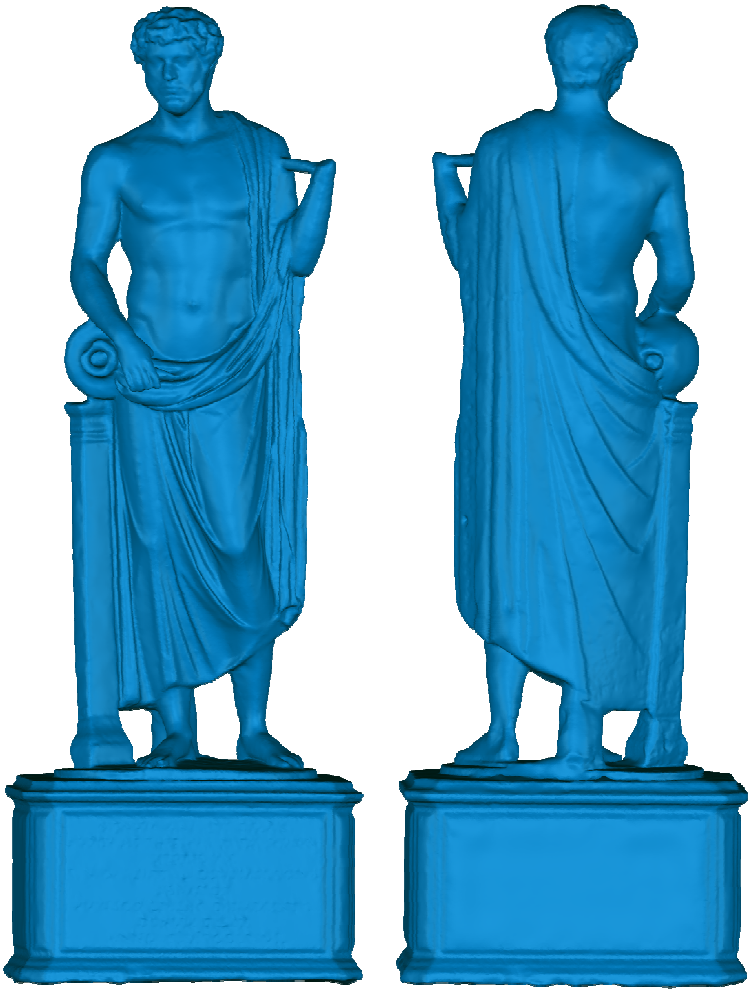


Figura 6.3. Modello 3D poligonale (dato x, y, z).



Figura 6.4. Modello 3D completo con texture.

Nella fase di *texture mapping* si sono applicate le *texture,* ottenute con la tecnica *image-based*, presentate nel capitolo 4, aggiungendo così elementi di dettaglio, legati alla caratterizzazione del materiale e, in particolare, allo stato di conservazione (questo è in parte causato dagli agenti chimici presenti nel terreno termale). Nella *texture* è stato omogeneizzato il livello cromatico, mantenendone le peculiarità (fig. 6.4) e fornendo un modello fruibile per la visualizzazione scientifica del reperto, per condurre analisi e per pianificare restauri. Inoltre, è possibile segmentare, anche semanticamente, il modello, dividendo, per esempio, la statua dalla base modernao intervenire sull'illuminazione, cambiando il livello di percezione visiva.

Infine, sono stati compilati gli schemi di *metadata* e *paradata*, presentati in Appendice A.

L'integrazione delle due tecniche ha restituito il modello completo con *texture* della statua, rispettando gli obiettivi iniziali, preservando la complessità formale e materica del reperto e ottimizzando il processo di acquisizione; inoltre, la ridondanza dei dati ha limitato gli errori di misura ed ha aumentato il livello di accuratezza. Sono state così sfruttate le potenzialità e le peculiarità di ciascuna tecnica; in particolare, il *laser scanner* non è influenzato dall'illuminazione,

a differenza della tecnica *image-based,* ed ha restituito in modo immediato e dettagliato le geometrie della superficie, fornendo una *mesh* misurabile e rappresentabile in scala 1:1. La fotogrammetria, invece, prima fornisce una nuvola di punti non strutturata e non misurabile; successivamente, rende disponibile una nuvola di punti densa e misurabile, dalla quale si ricava la *mesh*. Infine, le procedure semiautomatiche di elaborazione hanno permesso di procedere in modo speditivo e sono state restituite *texture* di qualità elevata, applicabili anche su geometrie elaborate con altri sensori.

6.1.2 Ricostruzione virtuale del contesto antico e studio d'interfacce interattive

La statua maschile in marmo bianco è uno dei reperti più rappresentativi del periodo romano di Montegrotto Terme e la sua restituzione digitale 3D simula molto bene l'oggetto reale; ma, nel momento della presentazione e della valorizzazione, il messaggio comunicativo è condizionato dal contesto in cui essa è inserita. Di conseguenza, le potenzialità della realtà virtuale sono state sfruttate per ricreare ipoteticamente l'ambiente, in cui la statua era esposta in antico, migliorando notevolmente la percezione spazio-dimensionale; inoltre è possibile aggiungere altri contenuti informativi per spiegare e supportare la ricostruzione storica e creare collegamenti con altri oggetti e luoghi.

Gli studi, condotti sulla statua, non chiariscono la sua collocazione in antico, ma è probabile che fosse esposta in un luogo privato o pubblico e, considerando la presenza del vaso rovesciato, doveva trattarsi di un edificio termale. Inoltre, la visione ottimale dal basso e la lavorazione corsiva nella parte posteriore, suggeriscono di posizionarla sopra ad un piedistallo ed all'interno di una nicchia. Riguardo al luogo del ritrovamento, Mandruzzato indica l'area delle 3 vasche termali, oggi appartenenti al sito archeologico di viale Stazione/via degli Scavi[5]. Tra queste, vi è la vasca A, inserita in un ambiente, con probabile carattere scenografico, costituito da una struttura absidata sul fondo, che doveva contenere una statua, posta sopra ad un piedistallo, la cui immagine era collegata al carattere funzionale del complesso termale [6] (fig. 6.5). Considerando questi aspetti, la ricostruzione della parte meridionale absidata di questo edificio è stata usata come riferimento per modellare l'ipotetico ambiente antico che ospitava la statua. Oggi, le strutture sono coperte da viale Stazione e documentate solo nella carta topografica di Mandruzzato; di conseguenza, l'approccioseguito per l'elaborazione dell'ambiente, è definito *source-based*, per la parte planimetrica, e *non-real,* per la modellazione degli alzati, basata sulle interpretazioni e gli studi archeologici.

[5]Vd. § 2.5.1.
[6]BONOMI, MALACRINO 2012, pp. 155-172.

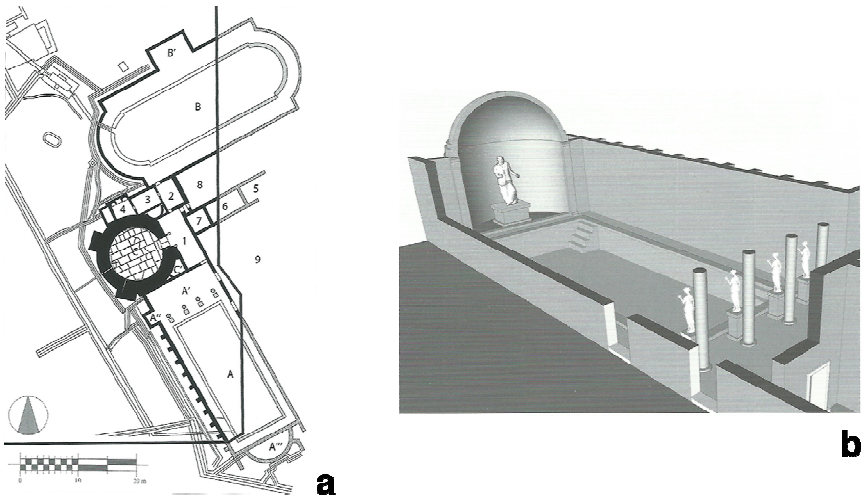


Figura 6.7. Risultati delle indagini archeologiche, condotte sulle vasche termali dell'area di viale Stazione/via degli Scavi (BONOMI, MALACRINO 2012, pp. 155 – 172). a) originaria estensione e planimetria delle strutture; b) ipotesi ricostruttiva della vasca A.

La planimetria dell'edificio è stata digitalizzata in ambiente CAD, seguendo la procedura definita *raster to vector* ed usando le misure ricavate dalle indagini precedenti, per poi esportare i dati in Rhinoceros[7] e procedere all'estrusione e alla modellazione della struttura, focalizzando l'attenzione sulla parte usata per l'ambientazione della statua. Ciascun elemento della scena 3D è stato realizzato, definendo la forma, la dimensione e le caratteristiche fisiche e materiche; inoltre, sono state posizionate le sorgenti luminose e sono stati configurati i parametri per la corretta visualizzazione ed animazione degli oggetti nella scena. Le strutture sono modellate tramite primitive geometriche; la caratterizzazione delle superfici si ottiene delineando le proprietà dei materiali, come la rifrazione e la semi-trasparenza nel caso dell'acqua, mentre altre peculiarità cromatiche sono state attribuite con *texture* artificiali, ricavate da oggetti reali ed applicate con il metodo UV e UV *Unwrap*[8], restituendo un dato facilmente gestibile ed esportabile in altri ambienti.
La ricostruzione si allinea alle interpretazioni degli archeologi relative alla parte meridionale della vasca A (fig. 6.6 a); ciascun elemento è accompagnato dallo schema dei *metadata* e *paradata* (tab. 6.2), registrato in formato *eXstensible Markup Language* (XML), per l'eventuale inserimento nell'ambiente virtuale. Successivamente, il modello decimato della statua è stato separato dalla base moderna e posizionato sopra al piedistallo virtuale, all'interno dell'abside, orientandolo e scalandolo correttamente (fig. 6.6 b). Non si sono aggiunte integrazioni nelle parti mancanti del

[7]https://www.rhino3d.com/it.
[8]Lo spazio della *texture* è un piano cartesiano, definito spazio UV, dove U è la coordinata orizzontale e V la verticale. Il metodo è usato per applicare *texture* a geometrie arbitrarie e complesse e per associare ad ogni vertice di ciascun triangolo una coppia di coordinate dello spazio UV. La procedura è definita UV *unwrap* quando la *texture* è "srotolata" sul piano 2D. GUIDI*et al.* 2010, pp. 294-297.

reperto e l'intervento ha riguardo, invece, le *texture* per eliminare l'azione corrosiva operata dagli agenti chimici del terreno.

I parametri di *rendering*[9] sono stati configurati considerando l'illuminazione globale, ovvero come le condizioni d'illuminazione dell'ambiente determinano la visualizzazione degli elementi presenti nella scena, in base alle proprietà fisiche dei materiali. Sono state impostate la posizione geografica, l'orientamento del nord nella scena 3D, la data nel calendario, l'inclinazione e l'altezza del sole, per poi simulare l'illuminazione all'interno dell'abside durante un'intera giornata.

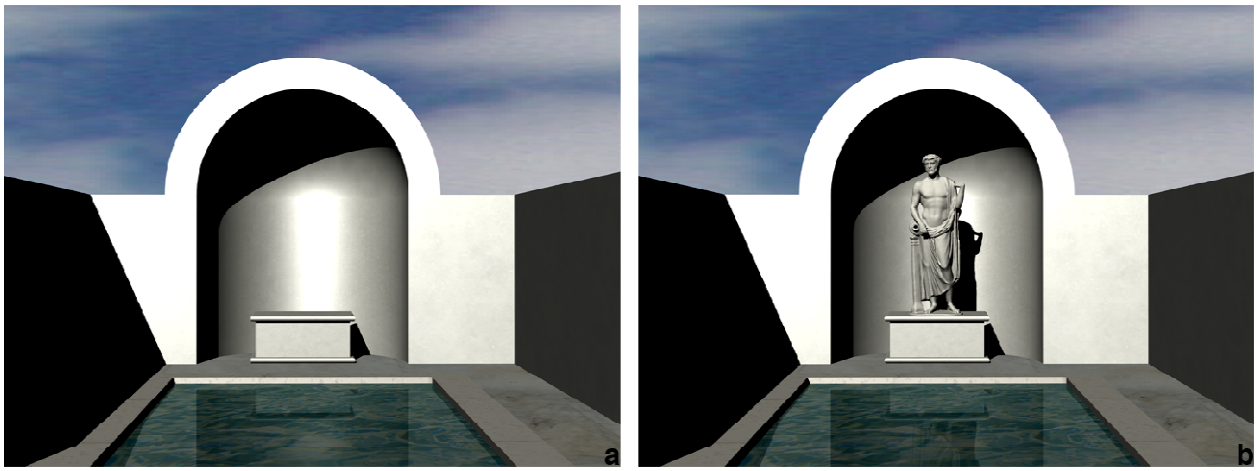


Figura 6.6. Ipotetica ricostruzione dell'ambiente antico (a) e simulazione con l'inserimento della statua (b).

Il risultato ipotizza e simula la percezione spazio-dimensionale nonché l'esperienza trasmessa all'osservatore antico; inoltre, definisce l'identità culturale del soggetto, restituendo una rappresentazione informativa sulla funzione ed il contesto storico-ambientale.

Successivamente, è stata studiata un'interfaccia, basata su interazione naturale, passando poi alla sperimentazione di un sistema mobile di realtà aumentata, presentato nel paragrafo seguente.

Nel primo caso, si fa riferimento alla virtualità aumentata[10] e l'interfaccia immaginata è funzionale alla visualizzazione del reperto nel suo contesto, per poi selezionarlo, ingrandirlo e muoverlo sui 3 assi di rotazione e spostamento, attraverso gestualità basiche e naturali, rilevate da sensori di *tracking*, configurate e associate alle diverse funzioni.

Un indicatore sullo schermo guida in tempo reale i movimenti;l'integrazione dei *metadata*, presentati attraverso finestre informative, illustra e spiega l'ambientazione, mentre la gestione dell'illuminazione e l'accompagnamento sonoro aumentano il livello percettivo-sensoriale, favorendo la creazione di un'esperienza emozionale. L'interfaccia immaginata presenta una delle

[9]Rappresenta la scena reale, partendo da una descrizione matematica e definendo le caratteristiche cromatiche di ogni *pixel*, legate all'illuminazione e alle proprietà fisiche dei materiali. HAPPA*et al.* 2010, pp. 155-182.
[10]Cfr. § 3.8.3.

soluzioni innovative, oggi proposte per interagire con oggetti virtuali, analizzando i dettagli e simulando l'approccio con un oggetto reale.

ORGANIZZAZIONE		
	Nome	Soprintendenza Archeologia del Veneto
	Data di creazione	1939
	Persona da contattare (nome)	Responsabile Soprintendenza: dott.ssa Simonetta Bonomi
BENE CULTURALE		
	Nome	Vasca A
	ID	
	Collezione	
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Edificio
	Descrizione	La vasca A è oggi visibile solo parzialmente, era rettangolare e inserita in un ambiente, chiuso a sud-est da un'abside, mentre nel lato corto nord-ovest, a ridosso della vasca, c'erano quattro basamenti.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Vasca termale
	Copyright	Soprintendenza Archeologia del Veneto
	Europeana Rights	
	Datazione	Seconda metà I sec. a.C. – inizio I sec. d.C.
	Nome del periodo	Romano
	Data d'inizio	
	Data di fine	
	Nome del luogo di posizione	Area archeologica viale Stazione/via degli Scavi
	Indirizzo	Montegrotto Terme
	Coordinate	45°19'43.68''N, 11°47'34.21''E
	Materiale	Mattone e trachite, rivestiti in antico con lastre marmoree.
	Unità di misura	Metro
	Altezza	
	Profondità	Ambiente termale 30 m
	Larghezza	Ambiente termale 12 m
ELABORAZIONE DA DATI CAD		
	Fonte dati	Tavola topografica di Salvatore Mandruzzato, 1804 ed esiti delle recenti indagini archeologiche
	Tipo dati	Piante e ricostruzioni storiche
	Metriche/Scalate? [si/no]	si
	Tecnica di elaborazione	Modellazione poligonale
TEXTURE MAPPING		
	Immagini reali (si/no)	no
	Immagini artificiali (si/no)	si
	Bump mapping (si/no)	no
	Colore vertice (si/no)	si

Tabella 6.2. Metadata *e* Paradata schemas *della ricostruzione 3D della vasca A, appartenente all'area archeologica di viale Stazione/via degli Scavi.*

6.1.3 Augmented Reality, markerless 3D tracking based on CAD data

Il modello della statua e la ricostruzione della sua ipotetica ambientazione antica sono stati usati per sperimentare un sistema di realtà aumentata, basato sull'uso di *hand-held display*[11], come *smartphone* e *tablet*, di facile utilizzo per l'utente che può così interagire con il bene culturale, tramite dispositivi di uso quotidiano. Si è usato un prototipo in scala della statua come riferimento reale, allineando ed associando la ricostruzione del suo contesto di origine ed altri contenuti informativi, che chiariscono il significato storico-culturale della rappresentazione.

Il prototipo in scala della statua (fig. 6.7) è stato realizzato usando il modello 3D, precedentemente elaborato con la stampante a prototipazione rapida ZPrinter 450[12]. La tecnologia di stampa si basa sul processo additivo, depositando strati consecutivi di materiale (polvere di gesso e resina che viene termostatata a fine stampa alla temperatura di 37°C) per restituire l'oggetto solido.



Figura 6.7. Prototipo in scala della statua maschile in marmo bianco.

La configurazione si è svolta in ambiente Metaio, già usato in ambito espositivo, culturale e museale[13]; in particolare Metaio Creator[14], dotato di un'interfaccia semplice, che non richiede competenze di programmazione e consente di realizzare applicazioni di realtà aumentata, riconoscendo più riferimenti nella scena reale, cui associare diversi tipi di contenuti digitali.

Il sistema, configurato con rilevamento ottico (*optical tracking configuration*), individua riferimenti fisici, anche con poche *texture* ed in situazioni d'illuminazione variabili, attraverso un algoritmo

[11]Cfr. § 3.8.3.
[12]FARESIN*et al*. 2012, pp. 525-532.
[13]MIYASHITA*et al.* 2008, pp. 103-106; http://www.metaio.com/fileadmin/upload/documents/magazine/insidear_mag-009-2014.pdf.
[14]https://my.metaio.com/dev/creator/index.html.

basato sull'allineamento e l'associazione tra l'oggetto reale e il suo modello CAD, da cui ricava le *features*, usate per il rilevamento (*3D markerless tracking based on CAD data*).

Il modello CAD, costituito da superfici e linee essenziali, dettagliate e accurate, utili nelle successive fasi di configurazione, è stato elaborato in Geomagic Studio e si è scelto di usare la geometria 3D frontale della base moderna, che è meno complessa rispetto alle altre parti, per favorire l'allineamento ed il riconoscimento. È richiesto un modello a basso numero di poligoni (*low poly model),* con formato OBJ[15]*,* che non restituisce errori nel passaggio tra diversi ambienti *software*; inoltre, per supportare il *tracking* sono stati fissati la scala di rappresentazione 1:1 mm e l'orientamento con l'asse Y puntato in avanti e l'asse Z puntato verso l'alto, quando si usa il sensore di un dispositivo mobile per creare un corretto e ridotto *line model*. Questi parametri (fig. 6.8 a) definiscono la posizione del modello digitale o *edge model*, all'inizio della fase d'inizializzazionedel *tracking*, descritta successivamente. Dal modello CAD sono stati ricavati il *surface model*(fig. 6.8 b) ed il *line model* (fig. 6.8 c). Il primo è ottimizzato definendo le superfici ed eliminando le lacune, per favorire il riconoscimento in tempo reale da parte di un dispositivo mobile, mentre nel secondo si determina la densità delle linee, rendendo più dettagliato e accurato il modello e restituendo i bordi visibili nell'oggetto, usato come riferimento reale, per migliorare la *performance* durante l'inizializzazione.

Al termine di questa prima fase, tra le modalità di *tracking*, si è scelto *feature based (SLAM) tracking*[16], adatto all'inquadramento da prospettive vicine al punto di vista iniziale e a superfici piatte. La posizione della fotocamera è rilevata solo una volta, per poi passare al riconoscimento delle *features*; l'algoritmo è robusto, estendibile, adatto all'inizializzazione d'incompleti *line model* e al riconoscimento di qualsiasi ambiente, anche con una minima presenza di *texture*, ma è sconsigliato per compiere rotazioni attorno all'oggetto o movimenti lontani da esso.

I risultati di questa prima configurazione sono ottimizzati, fissando la posizione iniziale dell'*edge model,*secondo i sensori di orientamento e di gravità del dispositivo, migliorando così le successive fasi dell'inizializzazione e visualizzando correttamente da punti diversi i contenuti, associati ad un oggetto fisico, che ha un riferimento fisso gravitazionale.

Procedendo con l'inizializzazione del *tracking,* si determina l'allineamento tra l'oggetto reale e la sua rappresentazione digitale: i parametri sono ricavati dalle precedenti fasi di configurazione (fig. 6.9), ma è possibile modificarli ed ottimizzarli, tramite un *test tracking,* eseguito con l'applicazione

[15]Cfr. § 3.5.

[16]*Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) è una tecnologia della *computer vision*, che permette di creare una rappresentazione sparsa 3D dell'ambiente e di localizzare la posizione e la configurazione della fotocamera, all'interno della stessa scena, senza l'uso di *marker* ed eseguendo il riconoscimento tramite le *features*. https://my.metaio.com/dev/sdk/documentation.

multi-piattaforma per dispositivi mobili Junaio[17], fornita da Metaio, che configura un nuovo *set up* per uno specifico *smartphone* verificando le condizioni ambientali con cui sarà sperimentato il sistema di realtà aumentata.

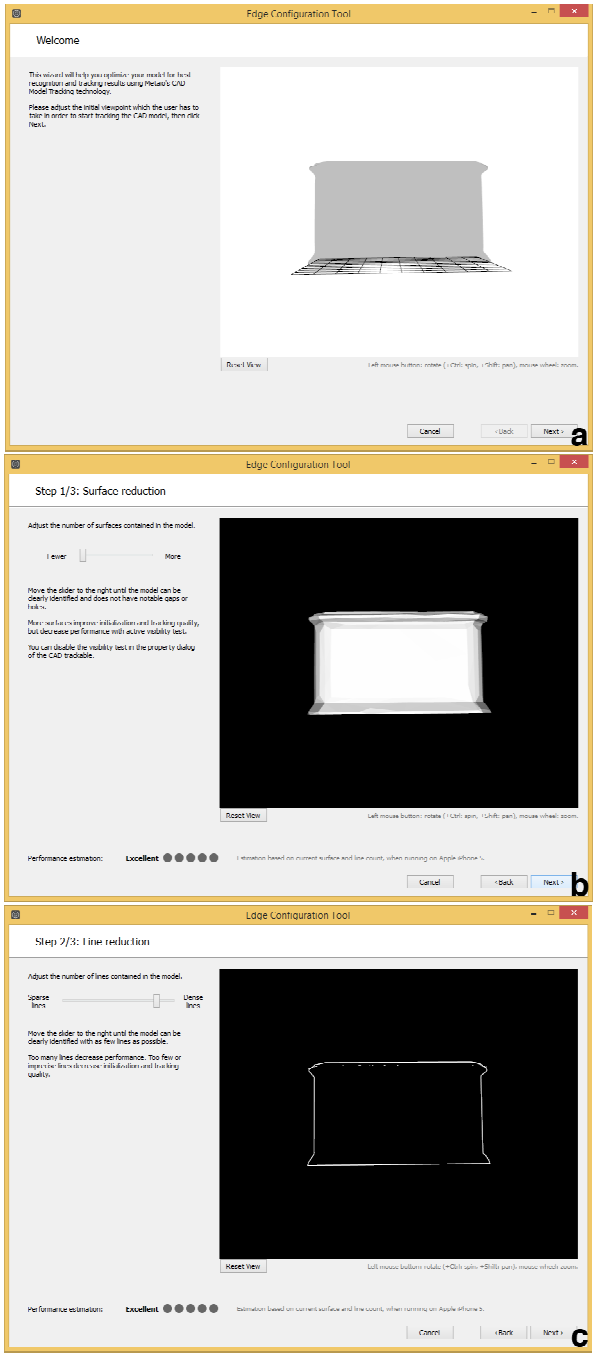


Figura 6.8. Edge Configuration Tool. *a) orientamento del modello, usando la griglia come riferimento; b)* surface model*, dove è preferibile evitare la presenza di lacune; c)* line model*, in cui si devono riconoscere i bordi dell'oggetto reale.*

[17]https://my.metaio.com/dev/junaio/index.html.

Il *test tracking* inizia con l'*Edge Based Initialization* (figg. 6.10 a, b, c, d) e determina i parametri:

1. *depth bias*, dove è calcolata la distanza ottimale tra la fotocamera e l'oggetto, per ottimizzare l'accuratezza nel *surface* e nel *line model* e migliorare così le prestazioni;
2. *feature points* indica il quantitativo di *features,* riconosciute nell'oggetto reale e gestite dal dispositivo, influenzando l'accuratezza e la robustezza del calcolo di posizionamento;
3. *search range* determina le dimensioni dell'area considerata, quando si cercano le corrispondenze nell'immagine, evitando i falsi rilevamenti;
4. *tolerance*indica la soglia minima di errore accettabile per l'inizializzazione e dipende dal modello usato e dalle condizioni d'illuminazione.

Il processo termina con il *tracking configuration test* (fig. 6.10 e), che completa la configurazione eliminando eventuali errori; vengono anche individuate le *features*, usate per il processo di SLAM *tracking*. La nuova configurazione è trasmessa al *software*, tramite un canale *cloud*, gestito da Metaio, e determina il rilevamento dell'oggetto reale da parte della fotocamera dello *smartphone*.

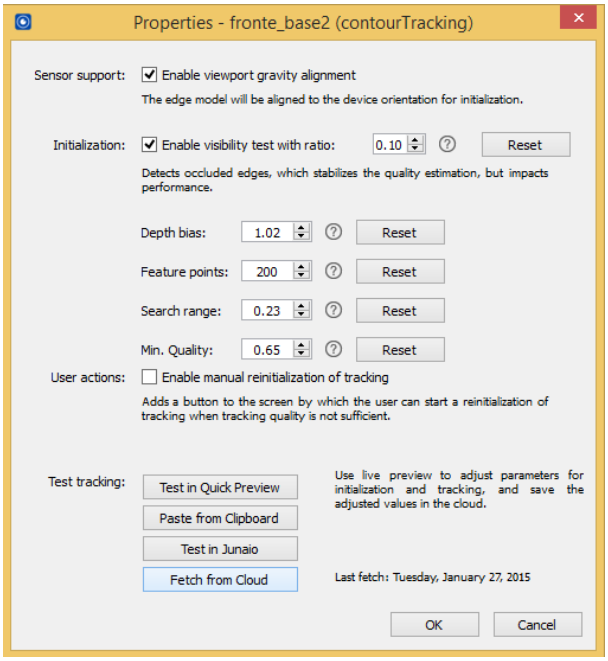


*Figura 6.9. Impostazioni iniziali, a seguito della configurazione dell'*edge model

Riguardo ai contenuti digitali, da allineare e associare all'oggetto reale, durante l'esecuzione dell'applicazione di realtà aumentata, si è intervenuto modificando la ricostruzione dell'ambiente termale, per l'inserimento all'interno del sistema. Sono richieste *texture* quadrate, in potenza di 2, con dimensioni non superiori a 2048 × 2048 *pixel*[18]. Alcune caratteristiche dei materiali sono mantenute, come la trasparenza dell'acqua, mentre l'illuminazione e le ombre sono gestite, con gli

[18]Il numero di poligoni del modello 3D e le dimensioni delle *texture* sono relazionate alle prestazioni del dispositivo.

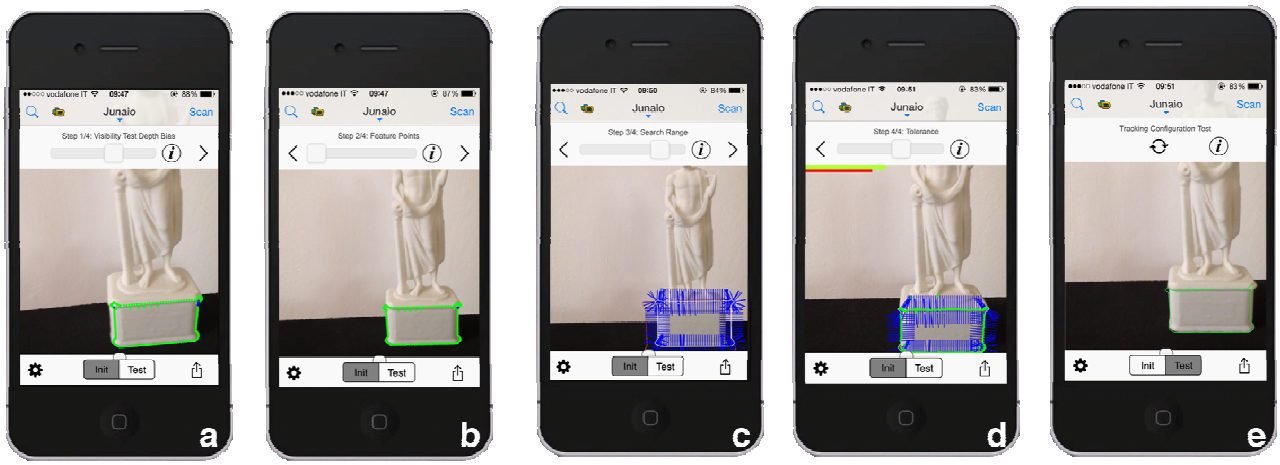


Figura 6.10. Edge Based Initialization. *a)* depth bias*; b)* feature points*; c)* search range*; d)* tolerance*; e)* tracking configuration *con esito positivo.*

strumenti di configurazione di Metaio Creator. Prima dell'esportazione, si verificano il corretto orientamento e la scala di rappresentazione, rispetto al modello 3D, usato per la configurazione con l'oggetto reale, col fine di migliorare le *performance* di restituzione. Inoltre, il modello è convertito in FBX[19], un formato proprietario di Autodesk, che favorisce l'interoperabilità dei contenuti digitali, con associate caratteristiche materiche e animazioni, verso altri sistemi, legati a configurazioni di gioco e interazione. Il *file* è ottenuto, tramite l'applicativo FBXMeshConverter (Metaio)[20], che lo rende adatto alla fruizione con dispositivi mobili.

Successivamente, il modello è importato in Metaio Creator e, tramite traslazioni sui 3 assi e trasformazioni di scala e rotazione, è allineato all'*edge model*, configurando poi le ombre, per ottimizzarne la visualizzazione e restituire un *rendering* più realistico.

Alla scena sono aggiunti dei pulsanti virtuali e delle icone, che rendono interattivo il sistema e consentono all'utente di visualizzare brevi testi informativi, per illustrare il valore storico-culturale dell'oggetto e il significato della ricontestualizzazione (fig. 6.11); inoltre è predisposto il collegamento al sito *web* del progetto *Aquae Patavinae*[21].

La configurazione dell'interfaccia (fig. 6.11) è archiviata, usando il formato *.xml*, in un canale *cloud*, collegato all'applicazione Junaio, con cui si è sperimentato il sistema, tramite la rete *World Wide Web* (*web*) e un *Quick Response Code* (QR Code), richiesto per usare la versione *demonstration(demo).*

[19] Cfr. § 3.5.
[20] https://my.metaio.com/dev/content-creation/3d-animation/model-export-from-blender/export-to-fbx.
[21] http://www.aquaepatavinae.it/portale.

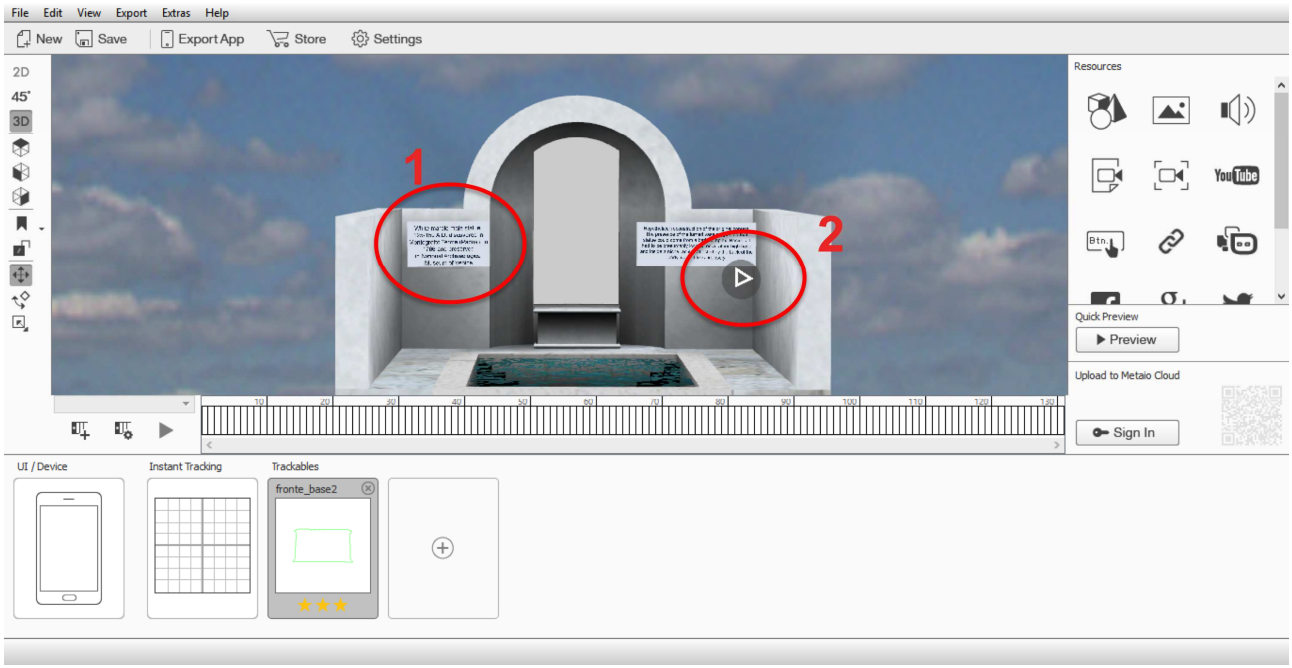


*Figura 6.11. Allineamento tra la scena 3D interattiva e l'*edge model *e configurazione del sistema. 1. pannello informativo cui si accede tramite il simbolo* info*, animato per attirare l'attenzione dell'utente; 2. pulsante virtuale, che attiva il collegamento al sito* web *del progetto* Aquae Patavinae.

La modalità *feature based (SLAM) tracking* e la corretta calibrazione della fotocamera del dispositivo, durante l'inizializzazione, favoriscono la visualizzazione stabile dei contenuti. Alcune limitazioni, legate alle applicazioni di realtà aumentata e alle prestazioni del dispositivo, sono state trattate nel capitolo 3; ovviamente è preferibile evitare forti variazioni di luce e movimenti bruschi della fotocamera, considerando che il riferimento è rilevato solo una volta.

Il sistema, di cui si presenta un esempio di sequenza interattiva(fig. 6.12), consente di associare ad un oggetto reale dei contenuti digitali che ne illustrano il valore semantico ed evidenzia la distinzione tra gli elementi reali e virtuali. L'interazione si ottiene tramite un dispositivo mobile, gestito direttamente dall'utente, che seleziona cosa visualizzare,acquisendo maggiore consapevolezza riguardo al reperto ed al suo valore storico e artistico; è possibile acquisire uno *screenshot* della scena preferita, da condividere attraverso *social network*.

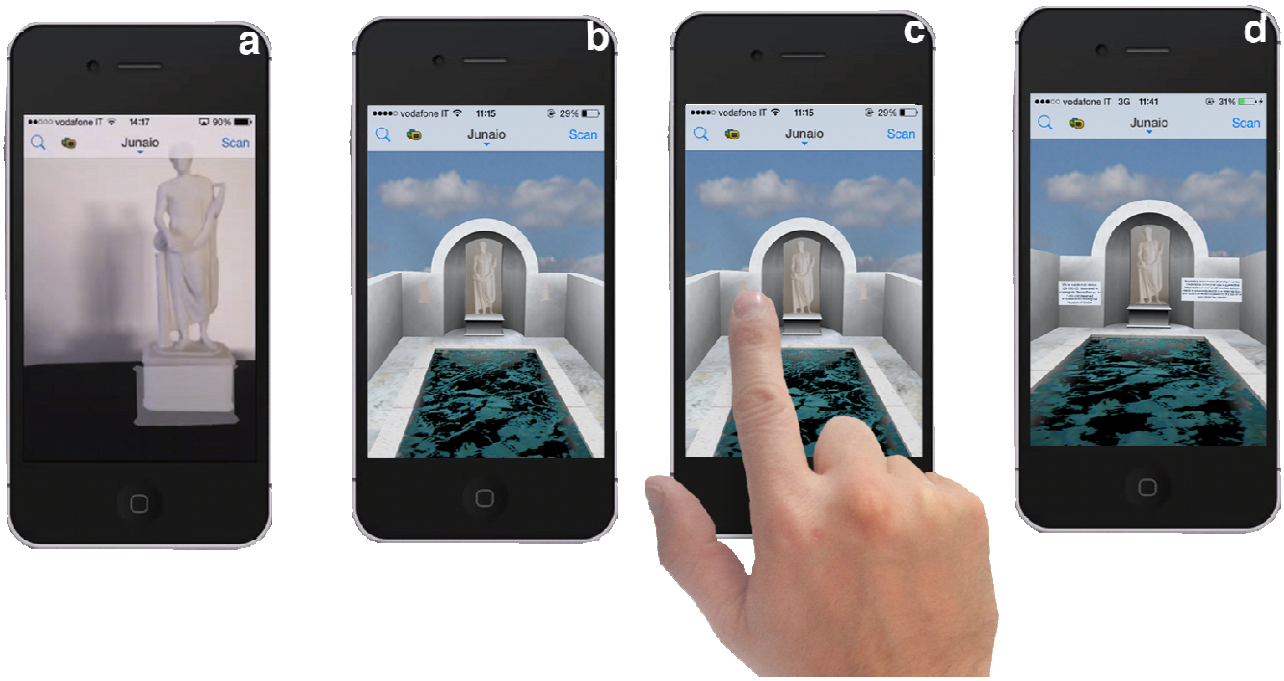


*Figura 6.12. Esempio di sequenza interattiva. a) allineamento dell'*edge model *con l'oggetto reale; b) scena che appare dopo il riconoscimento, con l'inserimento della statua all'interno del suo ipotetico contesto di origine, escludendo la base moderna; c) interazione dell'utente con i pulsanti virtuali per visualizzare i contenuti informativi; d) scena con pannelli, che spiegano il significato storico-culturale del reperto e l'ambientazione proposta.*

6.2 *Augmented Reality* per la valorizzazione dei cippi confinari

L'obiettivo principale della digitalizzazione dei cippi confinari è la loro ricontestualizzazione e valorizzazione nel contesto di appartenenza[22], favorendone la visualizzazione, superando i limiti legati alla loro posizione nell'esposizione museale, dimensioni, forma, condizioni ambientali, ecc. Inoltre, nel momento della valorizzazione, si deve considerare anche il significato storico-archeologicodei tre reperti, che non è relazionato solo alla comune funzione ed al contesto di origine, ma anche alle tecniche epigrafiche di realizzazione che indicano due diversi periodi di esecuzione per opera di maestranze differenti[23].

I risultati degli studi epigrafici-archeologici sono stati pubblicati da Buonopane[24] negli *Atti del Convegno Internazionale di studio sulle iscrizioni rupestri di età romana in Italia*, svolto a Roma nel 1989. A causa dei limiti delle tradizionali tecniche di acquisizione fotografica dell'epoca, le immagini non hanno restituito una raffigurazione dettagliata dei reperti, utile a comprendere quanto spiegato nell'articolo. Di conseguenza, si sono integrati il modello 3D ed i risultati, ottenuti con le tecniche di *rendering* (in particolare la *lambertian radiance scaling*), all'interno di un'applicazione di realtà aumentata[25], dove i contenuti digitali sono associati alle immagini dell'articolo, raggruppando i testi epigrafici, secondo le tecniche di realizzazione, il periodo di appartenenza ed avvalorando così i risultati degli studi epigrafici-archeologici; inoltre, si è ottenuta una nuova procedura per lo studio e la valorizzazione delle epigrafi, esportabile anche in altri contesti e sistemi tecnologici.

6.2.1 Configurazione del sistema

Il sistema è configurato basandosi su rilevamento ottico (*optical tracking configuration*) e usa la camera del dispositivo mobile iPhone 4S per caricare e associare modelli digitali, *rendering* e *video-rendering* alle immagini dell'articolo, scelte come *marker* 2D (fig. 6.13). Queste devono esserecaratterizzate da elementi e luminosità contrastanti; è preferibile acquisirle usando lo *smartphone* scelto per l'esecuzione dell'applicazione di realtà aumentata ad una risoluzione di 72 dpi (questo limite è già superato con *smartphone* di classe più elevata in termini di ottica e di processore). Anche in questo caso, la configurazione si è svolta in Metaio Creator e per ogni immagine è stato realizzato un *workflow*, suddiviso in tre diverse scene interattive, dove ciascuna scena rappresenta un livello informativo(figg. 6.14, 6.15, 6.16), organizzando gli elementi, le brevi

[22]Cfr. § 4.2.4.
[23]Cfr. § 2.5.2.
[24]BUONOPANE 1992, pp. 207-223.
[25]GREGGIO, SALEMI c.s.

descrizioni, il pulsante virtuale di navigazioneed i contenuti digitali, visualizzati dall'utente, secondo le preferenze personali.

Il *tracking* si basa su un algoritmo classificato come robusto e consente il rilievo in situazioni con variazione d'illuminazione; inoltre, viene stabilito un valore costante di soglia minima di compensazione, per il numero massimo d'iterazioni ricercate, consentendo all'algoritmo di evitare falsi rilevamenti.

Non è stata usata la tecnologia SLAM, poiché, nonostante permetta di tenere traccia del rilevamento anche quando ci si sposta dall'inquadratura del riferimento, rende molto instabile la visualizzazione dei contenuti 3D. Al contrario, il sensore inerziale del dispositivo mobile che misura la gravità, migliora la posizione stimata e stabilizza il rilevamento, imponendo però di disporre l'immagine di riferimento su un piano orizzontale. Viene anche indicato il numero delle inquadrature in cui la fotocamera continuerà a ricercare il *marker*.

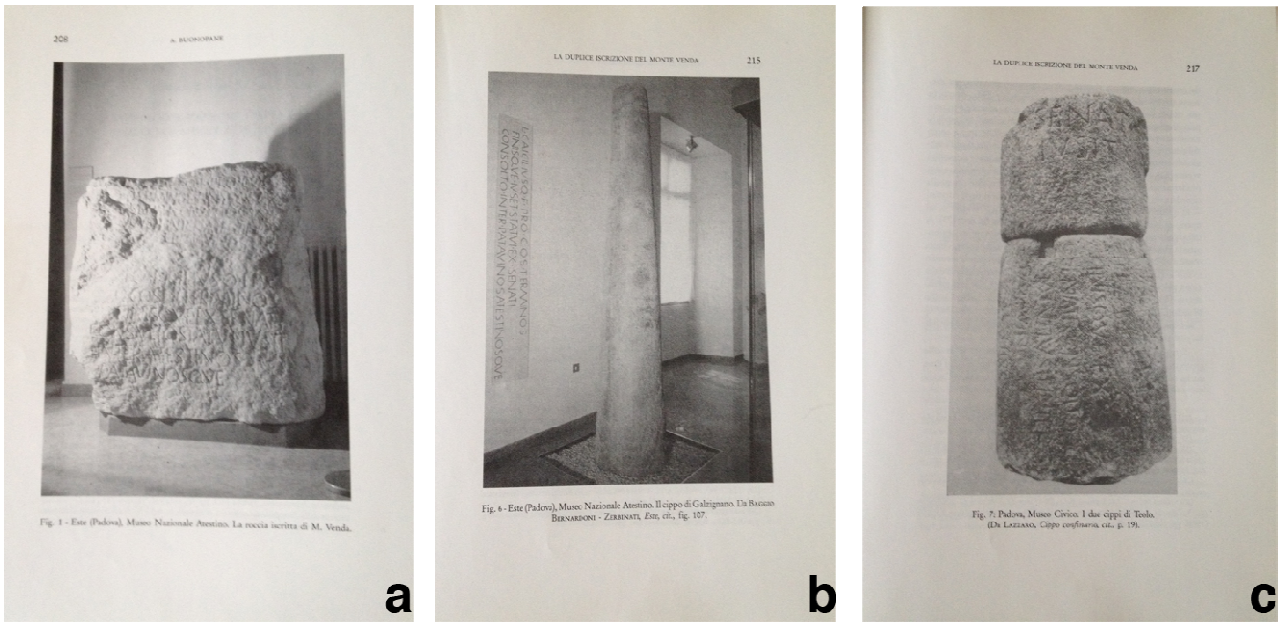


Figura 6.13. Marker *2D usati come riferimento per l'esecuzione del sistema di realtà aumentata. Immagini dell'iscrizione rupestre del Monte Venda (a), del cippo di Galzignano (b) e del cippo di Teolo (c). (*BUONOPANE *1992, pp. 207 – 223).*

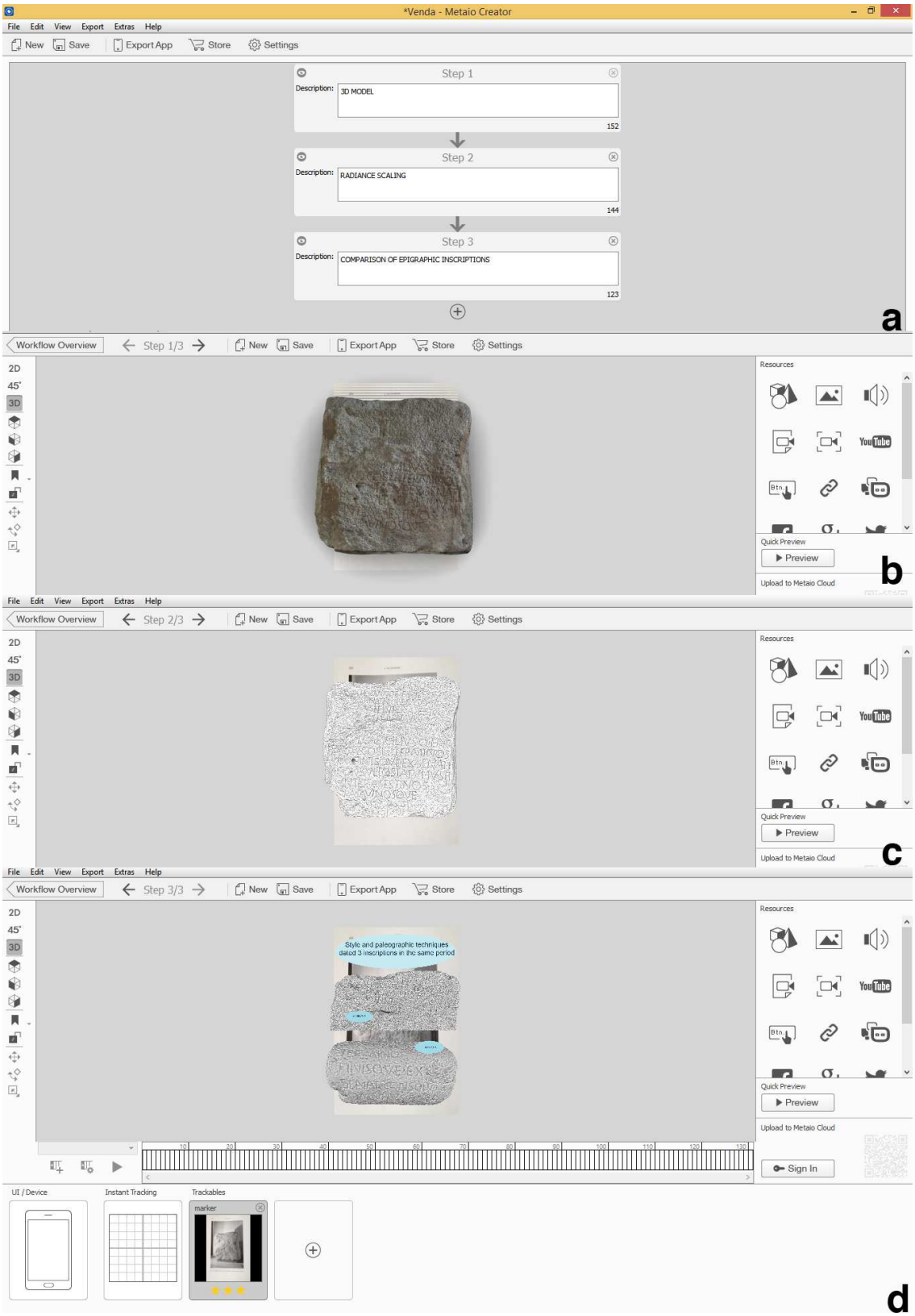


Figura 6.14. Workflow *per configurare i contenuti digitali (a), associati all'immagine dell'iscrizione rupestre del Monte Venda; scena (b) modello digitale 3D con* texture*; scena (c)* renderinglambertian radiance scaling*; scena (d) presentazione dei testi epigrafici, secondo il periodo e la tecnica di realizzazione.*

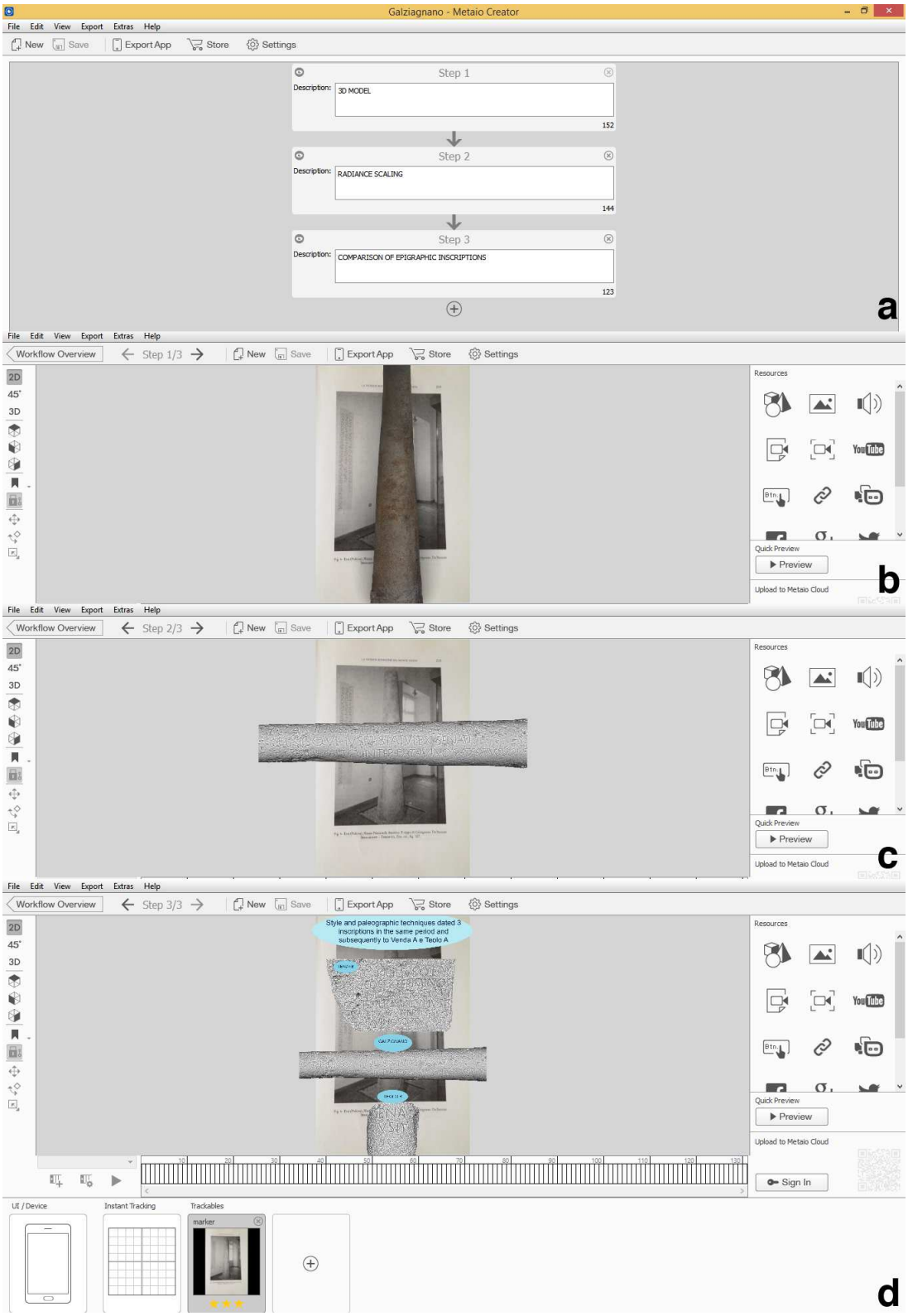


Figura 6.15. Workflow *per configurare i contenuti digitali (a), associati all'immagine del cippo di Galzignano; scena (b) modello digitale 3D con* texture*; scena (c)* renderinglambertian radiance scaling*; scena (d) presentazione dei testi epigrafici, secondo il periodo e la tecnica di realizzazione.*

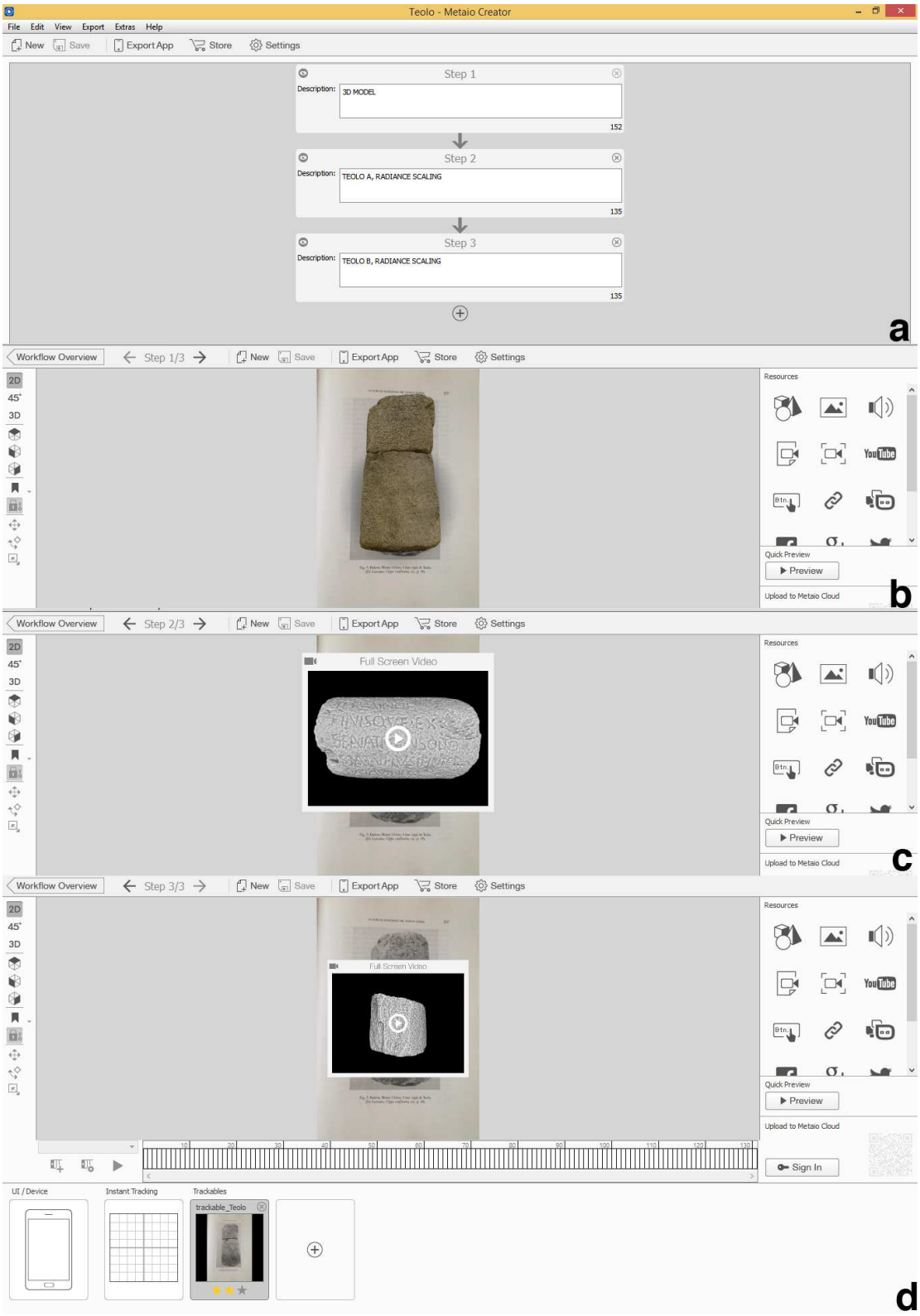


Figura 6.16. Workflow *per configurare i contenuti digitali (a), associati all'immagine del cippo di Teolo; scena (b) modello digitale 3D con* texture; *scene (c – d)* video-rendering *di ciascuno dei due frammenti.*

I contenuti digitali da allineare e da associare all'oggetto, durante l'esecuzione dell'applicazione di realtà aumentata, sono stati adattati al sistema che gestisce il *low-poly-model*, per consentirne la corretta visualizzazione secondo le prestazioni dello *smartphone* iPhone 4S. Si è proceduto con una rilevante decimazione dei modelli 3D (tab. 6.3), registrati in formato OBJ, restituendo il dettaglio e la simulazione del reperto reale, attraverso le *texture*, con dimensioni 1024 × 1024 *pixel.*

	Numero dei poligoni del modello decimato
Iscrizione rupestre del Monte Venda	56.276
Cippo di Galzignano	66.386
Frammento A, cippo di Teolo	56.774
Frammento B, cippo di Teolo	47.874

Tabella 6.3. Modelli decimati dei cippi confinari, per la gestione nel sistema di realtà aumentata.

Prima dell'inserimento nell'ambiente di configurazione, si sono verificati il corretto allineamento e la scala di rappresentazione e, dopo l'importazione, i parametri sono stati ulteriormente controllati per l'allineamento con il *marker* digitalizzato, tramite operazioni di traslazione sui tre assi e trasformazioni di scala e rotazione. Quindi, si è abilitata la visualizzazione del piano di ombreggiatura, che simula l'ombra proiettata dal modello, rendendo più realistica la scena; sono state predisposte le interazioni dell'utente sul dato 3D tramite operazioni di spostamento e rotazione sull'asse *z*.

Tra le tecniche di *rendering-shading* che favoriscono la visualizzazione dei dettagli sulla superficie dell'oggetto[26], si è integrata nel sistema la *lambertian radiance scaling* che, rispetto alla *depth map*, distribuisce l'illuminazione uniformemente sull'intera superficie, restituendo un risultato omogeneo, non relazionato alla posizione e all'orientamento del modello nello spazio 3D. Di conseguenza, sono stati esportati, tramite immagini 2D, dei *render*, che restituiscono il dettaglio delle iscrizioni incise su superfici piane.

Per le epigrafi del cippo di Teolo, realizzate su due blocchi di forma circolare e distribuite sull'intera circonferenza, si sono elaborati dei *video-render*, che consentono la completa visualizzazione del testo. Le immagini sono state importate con formato *Portable Network Graphics* (PNG) ed i video con il formato il MP4 (da *Moving Picture Expert Group* – MPEG) che favorisce la visualizzazione con sistemi basati su collegamento *online*. L'ambiente Metaio Creator consente di convertire il *file* video, ottenendo dimensioni di 640 × 480 *pixel,* per la corretta visualizzazione con la rete *3rd Generation* (3G), di cui dispone lo *smartphone* usato, garantendone l'applicabilità anche nel caso di assenza della rete *Wireless Fidelity* (Wi-Fi)[27].

[26]Cfr. § 4.2.4

[27]*Smartphone* più recenti permettono di utilizzare connessioni di rete con prestazioni più elevate.

6.2.2 Un walkthrough interattivo nel sistema di realtà aumentata

La configurazione dell'interfaccia (figg. 6.14, 6.15, 6.16) è archiviata in formato *.xml*, in un canale *cloud*, collegato tramite la rete *web* ed un QR Code all'applicazione mobile Junaio, usata per la sperimentazione del sistema di realtà aumentata.

L'utente legge la pubblicazione scientifica, che riporta i risultati degli studi epigrafici-archeologici condotti sui reperti e, in corrispondenza di ciascuna delle 3 immagini, con uno *smartphone,* visualizza i contenuti digitali, divisi tra più scene informative, gestendo la navigazione con dei pulsanti virtuali, secondo le sue preferenze.

La prima scena di ciascun'applicazione presenta il modello digitale 3D con *texture* (figg. 6.17 a, 6.18 a, 6.19 a), reso interattivo con operazioni di spostamento e rotazione sull'asse *z*. In questo modo, si migliora la visualizzazione dell'oggetto ed è possibile confrontarlo simultaneamente con i contenuti della pubblicazione. Inoltre, l'applicazione realizzata per il cippo di Teolo, crea un'esperienza d'intrattenimento ancora più interessante e gradevole, perché l'utente può sperimentare l'unione tra i due blocchi del cippo, ipotizzata dagli epigrafisti per il periodo antico (fig. 6.19 a).

Nella prima scena è presentato l'attuale stato di conservazione dei reperti, mentre le altre evidenziano, attraverso la tecnica di *renderinglambertian radiance scaling*, i dettagli morfologici, le variazioni geometriche della superficie ed il valore semantico dei manufatti.

La seconda scena dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e del cippo di Galzignano (figg. 6.17 b, 6.18 b) presenta l'immagine ricavata dal *rendering*, mentre per il cippo di Teolo, si sono usati due video, uno per ciascun frammento, inseriti rispettivamente nella seconda e nella terza scena, consentendo così di visualizzare interamente l'iscrizione, distribuita sull'intera circonferenza dei due blocchi (fig. 6.19 b).

La terza scena dell'iscrizione rupestre del Monte Venda (fig. 6.17 c) associa i *rendering* dei testi epigrafici Venda A e Teolo A, realizzati nello stesso periodo e da maestranze comuni, consentendo di confrontare la tecnica d'incisione e di spiegare il loro significato e legame storico.

La terza scena del cippo di Galzignano (fig. 6.18 c) relaziona i *rendering*, ottenuti dalle iscrizioni Venda B, Galzignano e Teolo B, presentando la riscrittura dei testi, eseguita in un periodo più tardo e da maestranze diverse, rispetto alle precedenti.

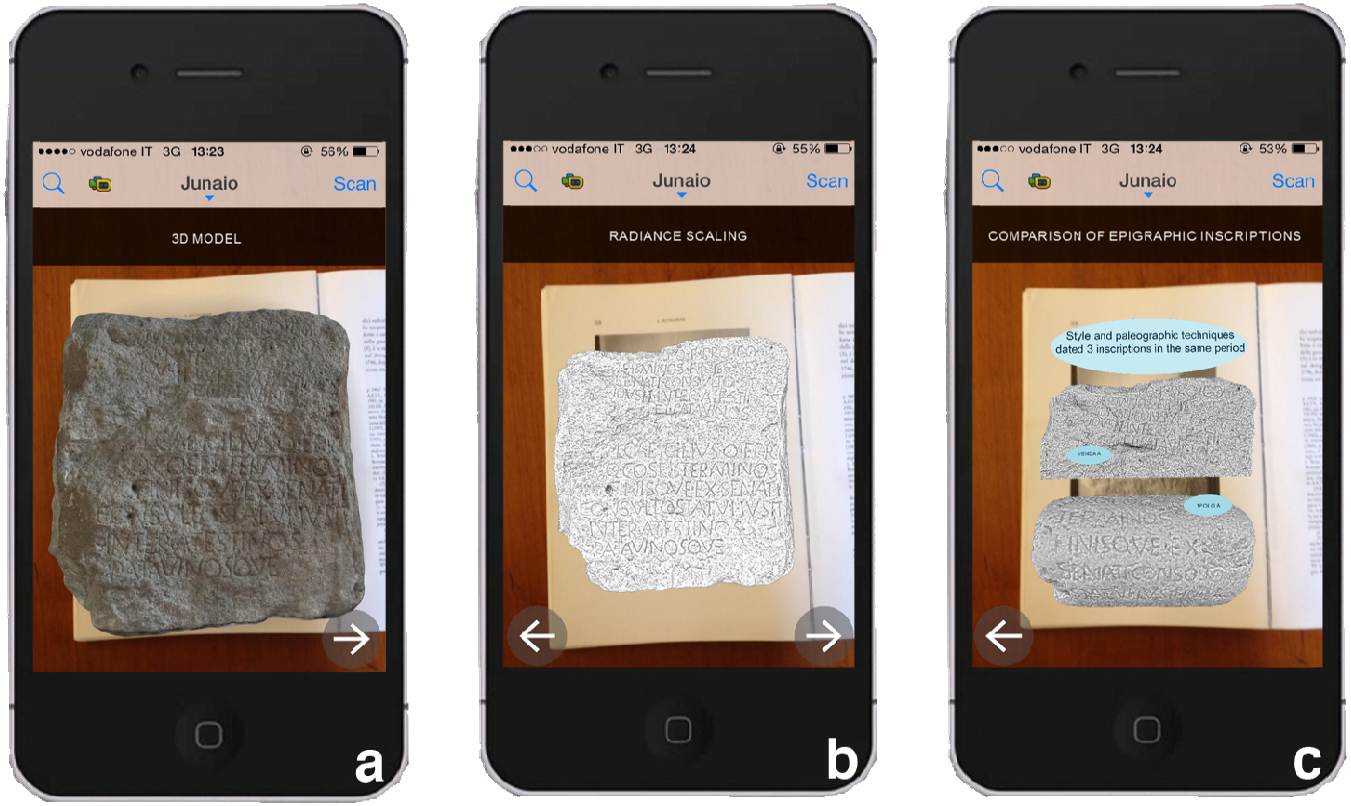


Figura 6.8. Iscrizione rupestre del Monte Venda, applicazione con interfacce interattive e informative. In ciascuna sono presenti un breve testo descrittivo e dei pulsanti virtuali per navigare tra le diverse scene. a) visualizzazione del modello 3D con texture*, possibilità di ruotarlo sull'asse z e spostarlo; b*) lambertian radiance scaling*; c) confronto tra i testi Venda A e Teolo A, realizzati nello stesso periodo, da maestranze comuni e associati ad un panello informativo, che spiega i contenuti.*

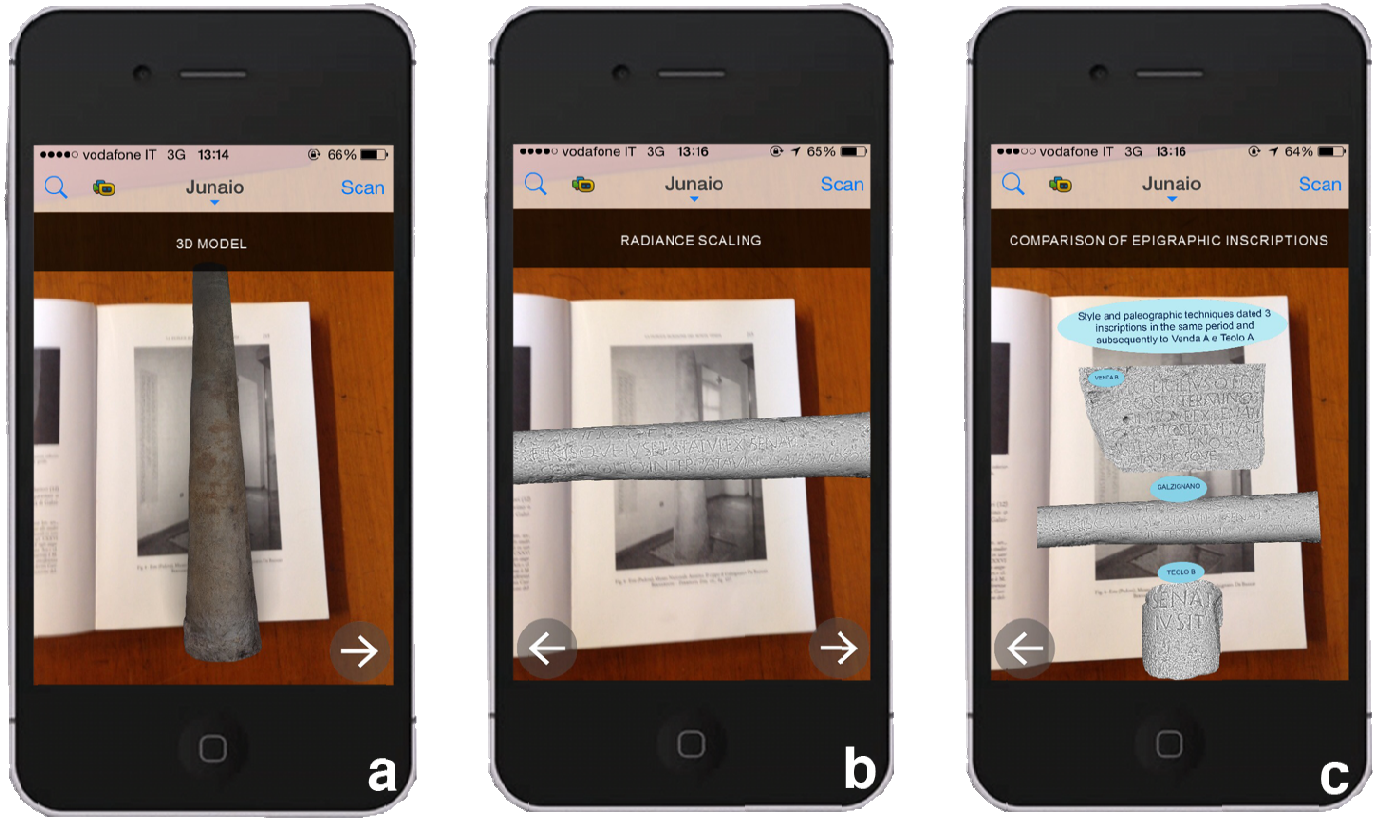


Figura 6.9. Cippo di Galzignano, applicazione con interfacce interattive e informative. In ciascuna sono presenti un breve testo descrittivo e dei pulsanti virtuali per navigare tra le diverse scene. a) visualizzazione del modello 3D con texture*, possibilità di ruotarlo sull'asse z e spostarlo; b*) lambertian radiance scaling*; c) confronto tra i testi Venda B, Galzignano e Teolo B, realizzati nello stesso periodo, da maestranze comuni e associati ad un pannello informativo che spiega i contenuti..*

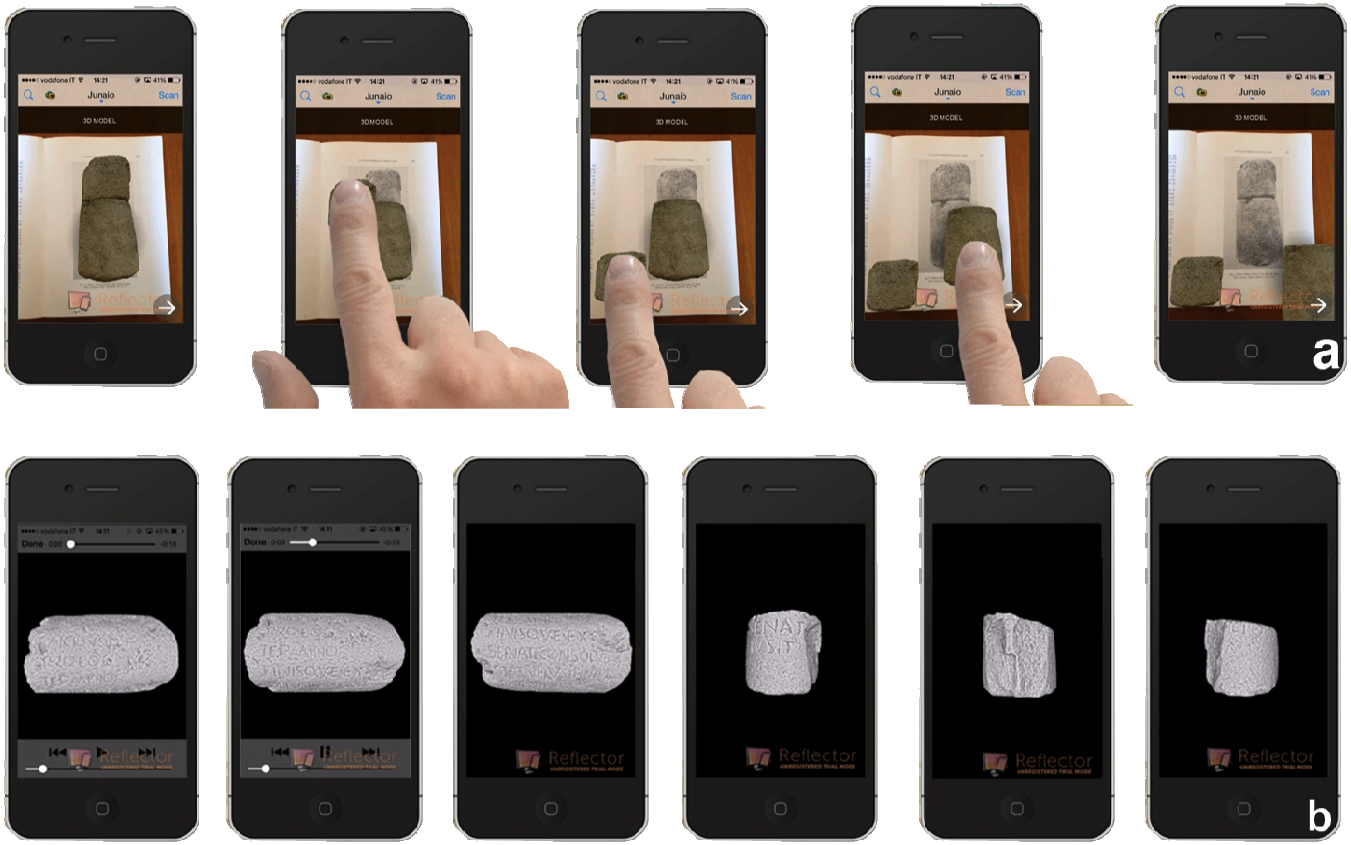


Figura 6.10. Cippo di Teolo, applicazione con interfacce interattive e informative. a) l'utente sperimenta l'allineamento e la divisione dei due frammenti, confrontandoli con il contenuto della pubblicazione; b) esempi di sequenze, prese dai video-rendering*, che consentono di visualizzare interamente i reperti.*

6.2.3 Risultati e considerazioni

Il rispetto di alcuni parametri di acquisizione, come già evidenziato, richiede una maggiore consapevolezza da parte dell'utente, riguardo alla gestione dell'approccio interattivo e dei contenuti, rendendolo quindi più partecipe, impegnato e immerso nell'esperienza.

Il modello può essere spostato, per il confronto con la pagina pubblicata, ruotato sul suo asse *z* e visualizzato da più angolazioni, muovendo lo *smartphone* e mantenendo l'inquadramento sul *marker*. Inoltre, poiché non è possibile la rotazione sugli assi *x* e *y,* le iscrizioni dei due blocchi del cippo di Teolo sono visualizzate solo parzialmente, ma questa limitazione è compensata con l'inserimento di *video-rendering* che restituiscono interamente l'iscrizione.

L'integrazione e l'organizzazione archeologica-scientifica di diverse tecniche di rappresentazione 3D e dati digitali, in un sistema interattivo di realtà aumentata, trasmettono il valore semantico del reperto, presentando le caratteristiche materiche, il collegamento con altri oggetti anche conservati in luoghi diversi, la datazione e le tecniche di realizzazione, supportando così la ricerca con una nuova procedura di analisi partecipativa e costituendo un'esperienza definita *edutainment*, adatta alla valorizzazione dei Beni Culturali.

Il sistema relaziona e distingue gli elementi reali e virtuali, creando un percorso immersivo e personale, dove l'utente seleziona cosa visualizzare e può acquisire uno *screenshot* della scena preferita da condividere attraverso *social network*, attivando così un'esperienza sociale e collaborativa.

L'applicazione costituisce un *Augmented Reality pop-up book*, emozionale dal punto di vista applicativo, esperienziale e rappresentativo, per i contenuti digitali e la possibilità d'interazione; inoltre ha un carattere educativo e d'intrattenimento, esportabile in percorsi museali, siti archeologici e laboratori didattici, grazie all'interoperabilità dei dati verso altri sistemi, basati sia su realtà aumentata sia su altre tecnologie.

6.3 Ricostruzione virtuale di alcune aree del paesaggio termale euganeo tra il 1700 e il 1800

Il lavoro condotto sul territorio termale ha restituito un'immagine di Montegrotto Terme e di Monteortone, fornendo gli elementi per una presentazione multidimensionale con l'ipotetica ricostruzione virtuale dell'area di via Neroniana (Montegrotto Terme), di fine 1700 – inizi 1800, e della pianura posta ad est delle pendici di Monteortone, di metà 1700. Entrambe le ricostruzioni hanno carattere filologico-scientifico perché si basano su attestazioni storiche, quali cartografia e descrizioni; in questo contesto, sono definite *source-based* per la restituzione planimetrica degli elementi e *non-real* per la modellazione in alzato delle strutture.

L'obiettivo è ottenere una presentazione d'immediata comprensione, rispetto alle visualizzazioni 2D e 2.5D, illustrando l'organizzazione spazio-dimensionale degli elementi e aggiungendo dettagli all'ecosistema, per ottenere un'immagine d'insieme del paesaggio.

Inoltre, si è simulato l'ambiente reale e si sono forniti nuovi strumenti di analisi per la ricerca scientifica e la valorizzazione, per diffondere la conoscenza del paesaggio storico e del patrimonio documentario (ad esempio la cartografia, talvolta di difficile interpretazione o non esposta al pubblico).

L'interoperabilità dei dati consente l'esportazione verso più sistemi tecnologici, da cui si ricavano nuove soluzioni di valorizzazione, adatte ad un pubblico eterogeneo. Tra queste, si è sperimentata la realizzazione di un breve video per ciascuna delle due ricostruzioni, fruibile in contesti *offline* e *online*, che integra le diverse fonti di dato, favorendo la spiegazione dei contenuti e la comprensione dell'approccio metodologico.

6.3.1 Via Neroniana

L'ipotetica ricostruzione virtuale del contesto paesaggistico dell'area di via Neroniana, di fine 1700 – inizi 1800, si pone come proseguo di quanto realizzato per la villa romana[28], al fine di estendere l'analisi e la presentazione spazio-temporale di un'area importante dal punto di vista storico-culturale, frequentata per lungo periodo e indagata in modo sistematico. Inoltre, si completa quanto presentato nel capitolo 5, da cui si sono ricavati il DTM e gli altri *file* vettoriali e *raster* (fig. 6.20 a), per poi modellare i vari elementi, definendone la forma, la dimensione, le caratteristiche fisiche e materiche.

La documentazione storica[29] ha fornito rappresentazioni ortogonali, escludendo raffigurazioni prospettiche del paesaggio; di conseguenza, si è proceduto con una restituzione 3D simbolica[30],

[28]Cfr. § 2.3.3.
[29]Cfr. § 5.3.1.

ricavata dalla tavola topografica di Mandruzzato. Inoltre, si sono considerate anche la Gran Carta del Padovano di Rizzi Zannoni, il catasto napoleonico e le descrizioni storiche.

La modellazione si è svolta in ambiente Blender[31] (v. 2.72), un *software open source*, che gestisce numerosi formati, rendendo i dati interoperabili con altri sistemi, per esempio i GIS, dai quali importa direttamente i *geodata* vettoriali e *raster*, mantenendo la georeferenziazione. Inoltre, il suo utilizzo è attestato in ambito archeologico, per la ricostruzione di ambienti antichi, la modellazione e l'animazione[32].

L'ecosistema, costituito da un insieme e una varietà di piante, adatte al tipo di suolo e clima, disposte secondo un'organizzazione naturale o antropica, è stato restituito ricavando le *texture* dalle tavole topografiche di Mandruzzato; inoltre si sono aggiunti alberi da frutto, che caratterizzavano i terreni coltivati, posti attorno alle aree sorgentifere e sulle pendici dei monti[33].

Riguardo allo stabilimento Mingoni si ha notizia di una sua risistemazione nel corso del 1700, per opera dei proprietari, mentre non vi sono indicazioni sulla piccola chiesa di S. Eliseo[34]; non avendo, quindi, elementi per definire la loro caratterizzazione, si sono usati come riferimento lo stabilimento Todeschini e la piccola chiesa o oratorio della Vergine, posti a sud delle pendici meridionali del Montirone (Abano Terme), documentati dalle descrizioni e raffigurazioni prospettiche di Mandruzzato[35], dove sono rappresentati con un aspetto curato e semplice; inoltre dalla piccola chiesa, ancora conservata, si è ricavata l'altezza delle strutture.

Si è proceduto estrudendo gli edifici dai dati 2D, importati dal GIS, per poi modellarli usando primitive geometriche, senza restituire i dettagli architettonici di cui non si avevano informazioni (figg. 6.20 a, b). La caratterizzazione di tutte le superfici è ottenuta definendo le proprietà dei materiali, come la rifrazione e la semi-trasparenza nel caso dell'acqua, mentre altre peculiarità, degli edifici e dell'ambiente, sono restituite tramite *texture*artificiali, applicate con il metodo UV e UV *Unwrap*, ricavate dalla cartografia simbolica di Mandruzzato e associate alla geometria (fig. 6.20 c).

La *texture* del terreno è costituita da zone a prato, posizionate in corrispondenza delle aree sorgentifere e da altre coltivate, poste nelle aree limitrofe; anche i Colli Euganei, presenti nello sfondo, e gli alberi sono stati restituiti in modo simbolico.

Ciascun elemento, rappresentato graficamente, è accompagnato da un *file .xml*, che registra i *metadata* e *paradata*(tab. 6.4), adattando gli schemi usati in precedenza, per gestire le informazioni

[30]Le scelte metodologiche sono state definite nella collaborazione tra il Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova ed il *Virtual Heritage Lab* del CNR-ITABC.
[31]https://www.blender.org.
[32]FANINI*et al.* 2013, pp. 431-449; GUIDAZZOLI*et al.* 2014, pp. 93-106.
[33]Cfr. fig. 5.7, capitolo 5.
[34]MANDRUZZATO 1804, pp. 28-29; 37-40.
[35]MANDRUZZATO 1789.

di elementi paesaggistici non conservati. Inoltre, questi favoriscono l'interoperabilità dei risultati, poiché, insieme al modello, sono esportabili verso altri sistemi.

BENE CULTURALE		
	Nome	Stabilimento Mingoni
	Collezione	
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Edificio
	Descrizione	Stabilimento termale, adibito ai bagni con architettura settecentesca.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Stabilimento termale
	Datazione	Fine del 1700 - inizi del 1800
	Nome del luogo di posizione	Attuale Hotel Terme Neroniane
	Indirizzo	Via Neroniana, Montegrotto Terme
	Coordinate	45°19'22.49''N 11°47'26.92''E
	Materiale	Probabilmente realizzato in mattoni
	Unità di misura	metro
	Altezza	6 m
	Profondità	21 m
	Larghezza	30 m
ELABORAZIONE DA DATI CAD		
	Fonte dati	Tavole topografiche, realizzate da Salvatore Mandruzzato, per le aree del Montirone e di Montegrotto, rispettivamente nel 1789 e nel 1804.
	Tipo dati	Piante e iconografie storiche
	Metriche/Scalate? [si/no]	si
	Tecnica di elaborazione	Modellazione poligonale
TEXTURE MAPPING		
	Immagini reali (si/no)	no
	Immagini artificiali (si/no)	si
	Bump mapping (si/no)	no
	Colore vertice (si/no)	si

Tabella 6.4. Esempio di metadata *e* paradata schema *realizzato per lo stabilimento Mingoni, non conservato.*

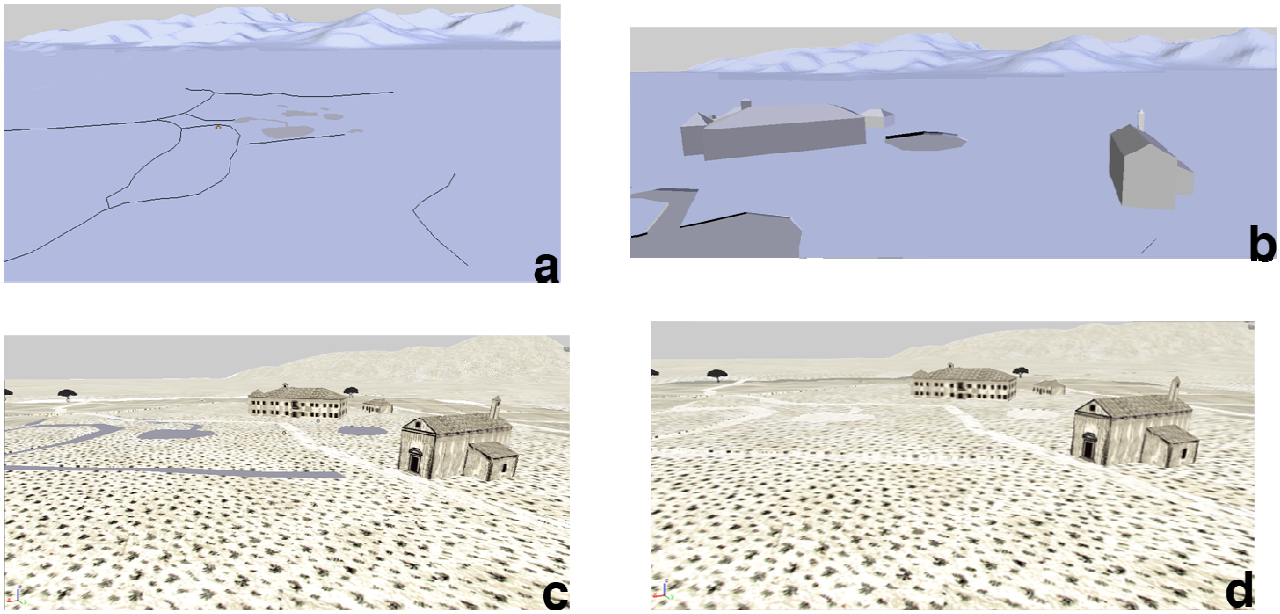


Figura 6.20. Modellazione 3D e texture mapping *degli elementi paesaggistici di via Neroniana in ambiente Blender. a) dati vettoriali 2D e DTM, importati dal GIS; b) modellazione geometrica; c) modello con* texture*; d)* rendering.

La restituzione realistica della scena 3D è stata sperimentata in ambiente Blender, definendo l'illuminazione globale, cui si lega la rappresentazione delle caratteristiche fisiche e materiche degli elementi, come l'acqua, rappresentata in trasparenza (fig. 6.20 d). Successivamente, si è eseguita una sperimentazione in ambiente Vue xStream della e-on software[36] (versione 2014 *Personal Learning Edition*), che fornisce maggiori strumenti per simulare l'ambiente reale, favorendo la configurazione e la rappresentazione di ecosistemi, con l'inserimento di elementi naturali, quali la vegetazione, i corsi d'acqua, il clima, l'orientamento del sole, ecc. Queste potenzialità sono state sfruttate per migliorare la restituzione dell'illuminazione globale e dell'acqua termale, elemento principale del paesaggio, attorno a cui si sono sviluppati gli insediamenti (figg. 6.21 a, b).

Si è realizzato anche un video, che integra e presenta le diverse fonti di dato, usate per elaborare la ricostruzione, partendo da una veduta panoramica del territorio attuale di Montegrotto Terme, per poi focalizzare l'attenzione sull'area di via Neroniana, passando alla cartografia storica, da cui si è ricavata la digitalizzazione degli elementi naturali e antropici; infine, un breve percorso di navigazione all'interno dell'ipotetica ricostruzione virtuale, che permette di comprendere il rapporto spazio-dimensionale delle diverse componenti del paesaggio.

La presentazione usa un linguaggio descrittivo e parte da un livello informativo di base, per poi aggiungere altri contenuti, che favoriscono la comprensione e la consapevolezza del pubblico, riguardo la metodologia di studio ed il valore semantico del patrimonio, chiarendo anche il livello

[36]http://www.e-onsoftware.com.

di affidabilità scientifica della ricostruzione. Il video dura circa 1 minuto e costituisce un sistema di comunicazione immediata e facilmente esportabile in più contesti.

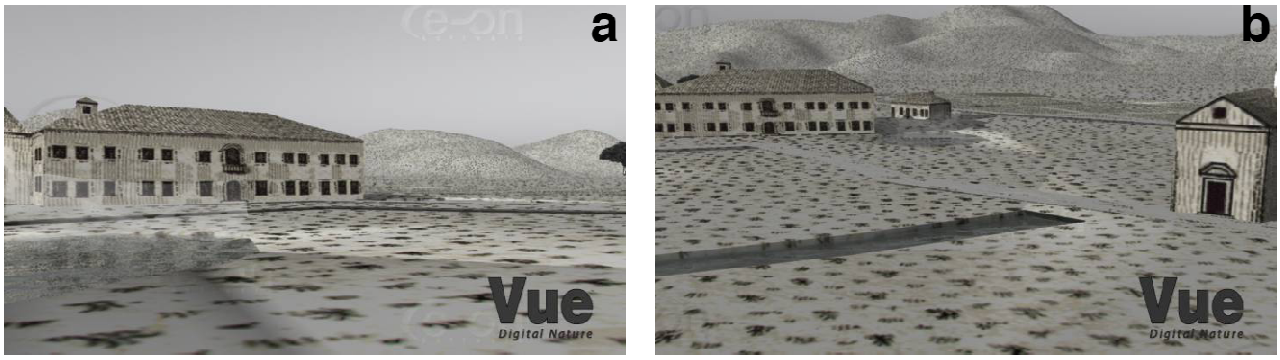


Figura 6.21. Rendering *in ambiente Vue xStream. a) lo stabilimento Mingoni con la grande sorgente circolare; b) la piccola chiesa di S. Eliseo, uno dei canali presenti nell'area, lo stabilimento Mingoni con un'altra piccola sorgente laterale.*

6.3.2 Monteortone

L'ipotetica ricostruzione virtuale dell'area pianeggiante, posta ad est delle pendici di Monteortonerestituisce l'immagine del territorio di metà Settecento[37] e delle sue attività, legate alle pratiche culturali del monastero ed allo sfruttamento delle risorse termali, attività che determinarono la produzione di documentazione storica, tra cui rappresentazioni ortogonali e prospettiche e iconografie del paesaggio [38] . Il lavoro di analisi, presentato nel capitolo 5, ha restituito l'organizzazione spazio-temporale degli elementi naturali e antropici, documentati storicamente, definendo l'immagine dell'area, da cui si è ricavata la vettorializzazione 2D di ciascuna componente che, insieme al DTM, è stata importata in ambiente Blender (fig. 6.22 a).

Considerando la documentazione storica disponibile, avvalorata anche dalle descrizioni, si è proceduto ad una ricostruzione virtuale che simula il paesaggio reale, restituendo la caratterizzazione dell'ecosistema e degli elementi antropici. La ricostruzione della scena 3D è stata favorita dal complesso santuariale, ancora conservato, da cui si è ricavata l'altezza degli edifici, mentre nell'area delle sorgenti, sono ancora presenti la polla circolare e le vasche per i fanghi.

L'ecosistema, restituito grazie alle descrizioni ed alla cartografia storica, da cui si è ricavata anche l'organizzazione degli elementi, è costituito dalle fonti termali, attorno alle quali vi sono aree incolte o destinate a prato, a causa del forte carattere paludoso, mentre il resto del territorio era caratterizzato da zone coltivate, con vigneti disposti a festoni, abbinati ad alberi da frutto. Infine, vi

[37] GREGGIO*et al.* 2015, pp. 429-436.
[38] Cfr. § 5.3.2.

sono le numerose canalizzazioni, funzionali alla bonifica dell'area e al deflusso delle acque calde termali. La geometria di ciascun elemento è già integrata nel DTM, mentre le *texture* sono artificiali e ricavate da immagini satellitari, successivamente modificate per restituire l'aspetto dell'ambiente di metà Settecento. Diversamente, gli alberi sono stati modellati e texturizzati in The Plant Factory di e-on software (versione 2014 *Personal Learning Edition*), per poi essere inseriti nel paesaggio, suddividendoli tra i terreni coltivati, interni ed esterni alle mura del monastero, arrivando fino al colle di S. Daniele.

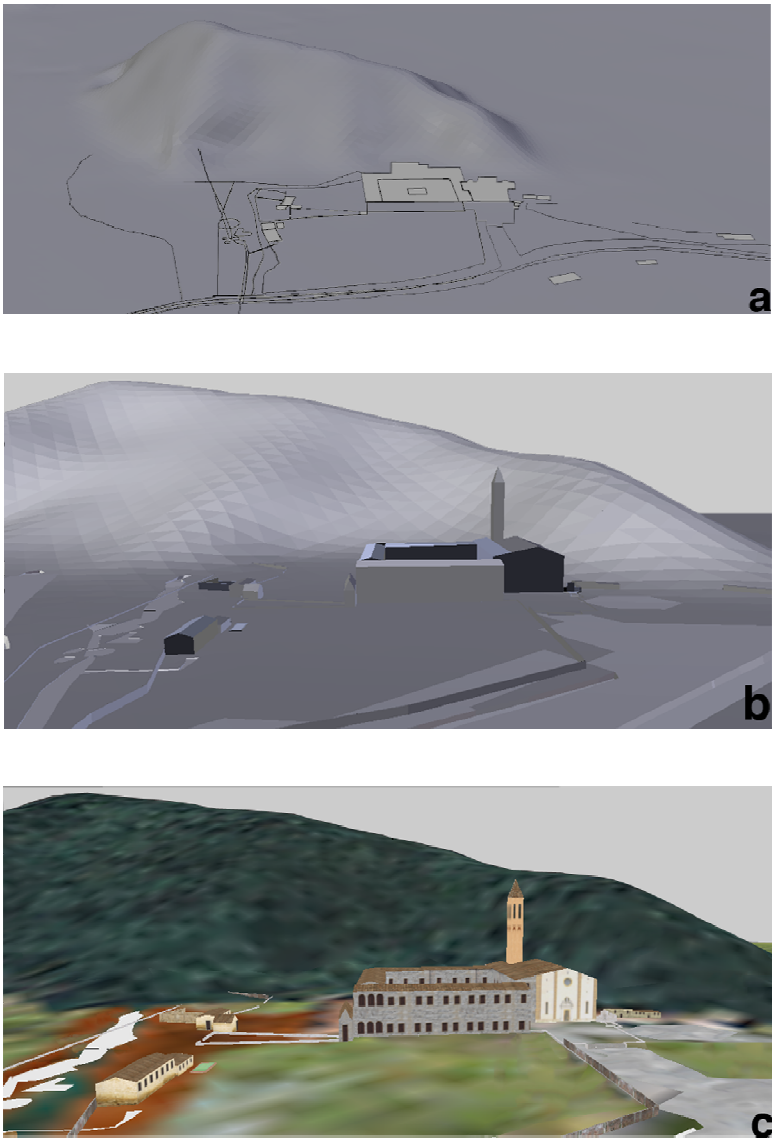


Figura 6.22. Modellazione 3D e texture mapping *degli elementi paesaggistici di Monteortone in ambiente Blender. a) dati vettoriali 2D e DTM, importati dal GIS; b) modellazione geometrica; c) modello con* texture.

Le iconografie di Mandruzzato costituiscono il riferimento più rappresentativo per modellare gli edifici e ricavare informazioni sulla loro caratterizzazione; di conseguenza sono state usate per il complesso santuariale, le strutture termali, funzionali allo sfruttamento delle sorgenti per la pratica dei bagni, gli edifici rurali e l'osteria, posta a nord-est dell'area.

La modellazione è stata realizzata usando primitive geometriche, che favoriscono la gestione dell'intera ricostruzione, considerando il notevole numero di elementi (fig. 6.22 b). La rappresentazione del monastero si è basata anche su altre raffigurazioni storiche e ha restituito le geometrie essenziali, poiché nel corso del 1800, importanti interventi stilistici hanno mutato l'aspetto originario. Per la chiesa, invece, non sono attestate modifiche; la facciata, rappresentata graficamente da Mandruzzato, ha uno stile molto semplice e appare simile a quella attuale, da cui si è ricavata la *texture*.

Negli altri casi, le tipologie edilizie sono state determinate analizzando altri edifici rurali della zona, utili per definire la caratterizzazione dei materiali e successivamente elaborare le *texture* artificiali, ottenute da elementi reali (fig. 6.22 c).

I dati sono interoperabili e accompagnati da *metadata* e *paradata* (tab. 6.5), registrati in formato *.xml* per ogni elemento della scena 3D.

Successivamente, la ricostruzione è stata importata in ambiente Vue xStream, aggiungendo altri elementi all'ecosistema (alberi da frutto) e configurando l'ambiente, l'illuminazione globale e le proprietà dell'acqua(figg. 6.23 a, b). La rappresentazione 3D restituisce un'immagine del paesaggio, che simula l'ambiente reale di metà Settecento e presenta un livello informativo, in cui sono integrate le caratteristiche di ciascun elemento naturale e antropico e la loro organizzazione nel territorio, favorendo la percezione spazio-dimensionale della scena da parte del pubblico.

Al termine si è realizzato un breve video della durata di circa un minuto, seguendo il medesimo approccio usato per la ricostruzione di via Neroniana. Le sequenze iniziali presentano il confronto tra il territorio attuale, restituito con le immagini satellitari di Google Earth Pro, cui si è sovrapposta la cartografia storica georeferenziata. Seguono le altre rappresentazioni, in ordine cronologico, illustrando l'evoluzione del paesaggio e valorizzando il patrimonio documentario, da cui è ricavata l'organizzazione spaziale degli elementi naturali e antropici, presentata con visualizzazioni 2D e 2.5D, per evidenziarne il mutuo rapporto. Il video termina con una breve navigazione all'interno dell'ambiente virtuale, ipoteticamente ricostruito di metà 1700, in cui sono inseriti contenuti, che spiegano il valore semantico del patrimonio. Anche in questo caso, sono presentati vari livelli informativi e fonti di dato, che permettono al pubblico di comprendere la metodologia usata ed i risultati sono fruibili in più contesti di valorizzazione.

BENE CULTURALE		
	Nome	Fonte arginata della termale
	Collezione	
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Sorgente termale
	Descrizione	Sorgente termale che fuoriesce in modo naturale dal terreno.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	
	Datazione	Attestata dal 1576
	Nome del periodo	
	Data d'inizio	
	Data di fine	
	Nome del luogo di posizione	Attuale area sorgentifera presso Monteortone
	Indirizzo	Via Monteortone, Abano Terme
	Coordinate	45°35'19.91''N 11°75'75.17''E
	Materiale	Terreno, acqua termale, argine probabilmente in mattoni
	Unità di misura	metro
	Altezza	
	Profondità	
	Larghezza	11,5 m
ELABORAZIONE DA DATI CAD		
	Fonte dati	Carta realizzata dal perito Fantello nel 1576 e tavola topografica di Salvatore Mandruzzato del 1793.
	Tipo dati	Piante e iconografie storiche
	Metriche/Scalate? [si/no]	si
	Tecnica di elaborazione	Modellazione poligonale
TEXTURE MAPPING		
	Immagini reali (si/no)	no
	Immagini artificiali (si/no)	si
	Bump mapping (si/no)	no
	Colore vertice (si/no)	si

Tabella 6.5. Esempio di metadata *e* paradata schema *realizzato per la fonte termale, ancora conservata.*



Figura 6.23. Rendering in Vue xStream. a) complesso santuariale e area sorgentifera; b) paesaggio tra Monteortone e San Daniele, con la disposizione delle varie colture e le canalizzazioni di acqua calda, tra cui il Rio dei Padri di Monteortone.

6.3.2 Risultati e considerazioni

Il lavoro presenta le prime ipotesi ricostruttive del periodo settecentesco-ottocentesco euganeo, basate su un approccio filologico-scientifico. Si tratta di rappresentazioni, che restituiscono l'immagine di un paesaggio naturale e antropico le cui attività, basate sullo sfruttamento delle aree sorgentifere, richiamano l'interesse di studiosi e frequentatori esterni e determinano una maggiore attenzione agli stabilimenti termali con un ampliamento delle strutture, portando poi alle trasformazioni nel corso dei secoli XIX e XX.

Il carattere scientifico è restituito tramite un approccio multidisciplinare con l'integrazione di competenze storiche, archeologiche e tecniche (ad esempio, per definire gli elementi del paesaggio

sono necessarie anche analisi geomorfologiche, geofisiche, geoarcheologiche, paleobotaniche, ecc.).

La rappresentazione 3D di via Neroniana è simbolica, mentre quella di Monteortone simula il paesaggio reale, ma in entrambi i casi è possibile intervenire per modifiche, aggiungere dettagli o una maggiore caratterizzazione.

La ricostruzione 3D favorisce la comprensione spazio-dimensionale degli elementi del paesaggio, presentando un ambiente simile alla realtà, migliorando l'interazione, rispetto ad una visualizzazione 2D e creando un utile strumento di studio e valorizzazione. È favorita l'analisi storica del territorio, restituendo elementi spesso non più visibili, ma che hanno determinato le scelte insediative nelle diverse fasi, come la tendenza all'impaludamento di alcune aree o lo stato di conservazione delle strutture antiche, attraverso gli interventi antropici, naturali e le modificazioni dei secoli successivi.

Al tempo stesso, dalla ricostruzione si ricava uno strumento di comunicazione immediata, che amplia cronologicamente e spazialmente il lavoro condotto per l'area termale euganea. Il risultato è integrabile in più contesti e sistemi per scopi d'intrattenimento, culturali, educativi e divulgativi, rispondendo alle nuove esigenze comunicative ed informando il pubblico, partendo da un livello di base e aggiungendo poi il valore semantico del dato ed altri contenuti, che illustrano e valorizzano non solo il paesaggio, ma anche il patrimonio documentario.

La realizzazione di un video per ciascuna delle due ricostruzioni restituisce una presentazione comunicativa e facilmente gestibile in contesti *online* e *offline*. Anche in questo caso, è fondamentale procedere con un approccio multidisciplinare, per definire la struttura organizzativa; inoltre si devono inserire più contenuti, utili a chiarire la metodologia usata e spiegare il valore storico-culturale. Gli elementi di attrazione sono legati alla forma, alle dimensioni, al colore, posizione, messa a fuoco, ma l'attenzione deve essere mantenuta sul contenuto scientifico, associato alle tecniche di comunicazione, che ne favoriscono la valorizzazione.

L'obiettivo non è presentare in pochi secondi tutto il paesaggio termale euganeo, ma focalizzare l'attenzione su un'area spazialmente e cronologicamente definita, valorizzandone il patrimonio storico e le attestazioni documentarie.Il risultato è una presentazione immersiva perché coinvolge il pubblico in scenari paesaggistici oggi perduti ed è emozionale dal punto di vista rappresentativo, dove l'inserimento di altri contenuti legati alle percezioni sensoriali (sonori, olfattivi, ecc.) può ulteriormente arricchire l'esperienza.

CAPITOLO 6

Conclusioni

La ricerca ha sviluppato nuovi percorsi all'interno del progetto *Aquae Patavinae*, considerando come riferimento ed obiettivo il costituendo Museo del Termalismo ed ha fornito risultati importanti per la documentazione, la visualizzazione, l'analisi e la ricontestualizzazione dei beni mobili nel loro contesto di appartenenza. Inoltre, si è ampliato spazialmente e cronologicamente lo studio dell'area termale euganea, distinguendo gli elementi naturali ed antropici che hanno caratterizzato le diverse fasi insediative e proponendo presentazioni multidimensionali per l'osservazione e la fruizione dei risultati.

Dal piccolo oggetto all'esteso complesso territoriale, si sono indagate le diverse tipologie di bene culturale, analizzandone la complessità formale e strutturale, tramite procedure di rilievo, con tecniche *reality-based* e modellazione 3D, si è proceduto alla gestione ed alla sperimentazione di nuove soluzioni di visualizzazione, favorendo lo studio e la comprensione dei dati e si sono sperimentati sistemi tecnologici di valorizzazione, basati sull'uso dei *serious games*, valutando come organizzare i contenuti e come gestire i rapporti con il contesto.

Si è iniziato con un'analisi sistematica del lavoro pregresso, utile per comprendere l'ambiente storico e le peculiarità del comprensorio termale euganeo, individuando poi alcuni casi di studio, considerati di maggiore interesse, per evidenziare il valore culturale e storico-archeologico dell'area. L'analisiaccurata e la conoscenza del patrimonio hanno permesso d'impostare le metodologie d'indagine, singolarmente adattate ai casi applicativi, agli obiettivi di digitalizzazione, di documentazione ed alla successiva valorizzazione in ambito museale.

Il modello 3D accurato e con *texture* della statua maschile in marmo bianco è stato restituito usando un approccio *sensor fusion*, ovvero integrando tecniche *range-based*, che favoriscono l'acquisizione di geometrie complesse, e *image-based*, che meglio si adattano al contesto.

Nel caso dei tre cippi confinari, invece, si è scelta la procedura *image-based*, considerando le caratteristiche dei reperti, dell'ambiente e la necessità di procedere in modo speditivo. In particolare, si è sperimentata la *Computer Vision*, che automatizza alcuni processi della fotogrammetria ed è adatta al rilievo in varie situazioni, restituendo un dato dettagliato e accurato, confermando i risultati delle indagini precedenti e guadagnando un maggiore livello di risoluzione anche per l'analisi autoptica tradizionale sui nuovi *devices*.

La fase di acquisizione è uno dei momenti più importanti dell'intero processo di restituzione e talvolta le dimensioni, le caratteristiche dell'oggetto, la sua posizione e le condizioni ambientali hanno influito pesantemente, rendendo necessari interventi nel *dataset,* durante le fasi di *pre-processing* e *processing*.
Successivamente, lo stato di conservazione di alcuni testi epigrafici, presenti nei cippi, ha suggerito la sperimentazione di nuove procedure di *rendering-shading*, che migliorano la visualizzazione dei segni incisi, danneggiati o realizzati con tecniche irregolari, per poi selezionare l'approccio ottimale che restituisse un risultato uniforme sull'intera superficie del reperto.

Riguardo allo studio del territorio, l'attenzione si è focalizzata su alcuni nuclei insediativi di Montegrotto Terme e Abano Terme, occupati fin dall'età antica, analizzando il periodo compreso tra il XVIII e il XIX sec., quando sono attestate le prime importanti trasformazioni, legate all'utilizzo delle risorse termali.
Le diverse fonti di dato sono state digitalizzate e organizzate in ambiente GIS, basandosi sulle indagini precedenti per Montegrotto Terme, ed esaminando per la prima volta in modo sistematico i dati di Monteortone, presenti nella documentazione dal XVI sec. Nel primo caso si è restituita un'immagine del paesaggio storico di fine 1700 – inizi 1800 e nel secondo di metà 1700, ricavando poi una rappresentazione multidimensionale 2D e 2.5D, che favorisce la comprensione del rapporto spazio-temporale tra gli elementi; inoltre è stato possibile confrontare le diverse fasi storiche con il periodo attuale. Si tratta di un'immagine parziale, ovviamente legata ai limiti della documentazione storica, dove le informazioni sono restituite secondo una visione soggettiva e seguendo gli obiettivi della realizzazione.

L'interoperabilità dei dati, i *metadata* ed i *paradata*, ma anche la conoscenza approfondita dei beni hanno consentito di esportare e organizzare i risultati in sistemi tecnologici di valorizzazione, presentando ed evidenziando il valore semantico del singolo reperto, tramite l'integrazione con altri contenuti informativi e creando nuove proposte educative e d'intrattenimento, basate sui *serious games*.
Il modello della statua maschile in marmo bianco è stato inserito in un ambiente virtuale, che ipotizza la ricostruzione del suo contesto di origine e, dopo aver analizzato alcuni dei sistemi interattivi oggi disponibili, si è proceduto con la sperimentazione di un'applicazione mobile di realtà aumentata, impiegando uno *smartphone* e la tecnologia *3D markerless tracking based on CAD data*. L'ambiente virtuale ricostruito e altri contenuti informativi sono associati al prototipo in

scala dell'oggetto, ipotizzando così una sua ricontestualizzazione, comunicata in modo immediato e spiegata, con collegamenti esterni ed approfondimenti.
Anche per i tre cippi confinari si è sperimentato un sistema mobile di realtà aumentata, presentando un approccio innovativo per l'organizzazione dei contenuti, basato sulla tecnologia *2Dmarkerless tracking,* dove si usano come riferimento le immagini pubblicate con i risultati delle indagini epigrafiche-archeologiche, condotte sui cippi eacquisite con tecniche tradizionali. I contenuti digitali, associati con l'applicazione, migliorano la visualizzazione dei reperti, restituendoli in modo completo, illustrandone il significato e creando un sistema definito *ARpop-up book*.
Entrambe le applicazioni ben s'inseriscono all'interno dei *serious games* e delle nuove forme di comunicazione ed organizzano i contenuti per farne emergere il valore semantico. Inoltre, sono di facile utilizzo e interattive, consentendo all'utente di definire un percorso personale, facendo acquisire consapevolezza e creando un'esperienza immersiva ed emozionale, grazie all'integrazione degli elementi.

Infine, è stata elaborata l'ipotetica ricostruzione 3D del paesaggio di fine 1700 – inizi 1800 per Montegrotto Terme e di metà 1700 per Monteortone, seguendo approcci diversi, in relazione alle fonti disponibili. Nel primo caso, si è restituita un'immagine simbolica, mentre nel secondo si è proceduto con una ricostruzione che simula l'ambiente reale.
Per entrambi è stato realizzato un video, che integra le diverse fonti di dato, usate per l'analisi del territorio e una breve navigazione all'interno dell'ambiente virtuale, presentando così la metodologia seguita e consentendo al pubblico di acquisire una maggiore consapevolezza e conoscenza del patrimonio culturale.

La ricerca è stata condotta con un approccio multidisciplinare, dove le tecniche storico-archeologiche, utili ad approfondire la conoscenza del bene, del contesto storico-culturale e a fornire gli elementi per impostare la metodologia, sono state integrate con procedure di derivazione scientifica, favorendo le fasi di rilievo e analisi multidimensionale per ottimizzare la fruizione nell'ambiente espositivo e la corretta scala di rappresentazione legata alla percezione spazio-dimensionale.
L'approccio metodologico è stato adattato ai diversi casi applicativi, considerando gli obiettivi, le caratteristiche dell'oggetto, le fonti di dato e altre peculiarità. I beni mobili sono stati digitalizzati con tecniche *reality-based* e sono rivolti ad una visualizzazione di dettaglio, fornita con sistemi di realtà virtuale e aumentata, dove si associano altri contenuti per aumentare il livello informativo.

I dati territoriali, restituiti con un approccio *source-based* e *non-real*, sono stati collocati e presentati nel loro contesto storico, ricostruito virtualmente per consentire la navigazione dell'utente.
In entrambi i casi, attraverso la digitalizzazione del dato ed i nuovi sistemi tecnologici, basati su *serious games*, si sono proposte soluzioni che, oltre ad illustrare il valore estetico del bene culturale, evidenziano il significato semantico, partendo da un livello informativo di base, cui l'utente può associare altri contenuti, con strumenti d'interazione, creando così un percorso di apprendimento.
Si tratta, inoltre, di soluzioni facilmente esportabili, in particolare la realtà aumentata, che è fruibile con dispositivi mobili e associa contenuti di vario tipo a contesti diversi. I risultati sono adatti ad un pubblico eterogeneo e forniscono uno strumento utile anche per la diffusione dei dati tra gli studiosi.
La ricerca ha confermato come nell'acquisizione, nella gestione e nella scelta dei sistemi tecnologici di visualizzazione e valorizzazione del patrimonio culturale non esiste un'unica procedura adatta per tutti i casi di studio ed è, invece, necessario modificare il processo di rilievo, secondo le caratteristiche dell'oggetto, le condizioni ambientali e lo stato di conservazione, mentre per la visualizzazione e valorizzazione si devono considerare anche il valore semantico ed il contesto espositivo socio-culturale.
Inoltre, la metodologia, basata sull'integrazione di diversi approcci, fonti di dato, tecniche di rilievo, sistemi di gestione, visualizzazione e valorizzazione, ha favorito il raggiungimento degli obiettivi, grazie anche ad una corretta "progettazione del dato" che, reso interoperabile, garantisce la stabilità e la validità dei risultati nel tempo.

Le sperimentazioni condotte nell'ambito del progetto *Aquae Patavinae* hanno suggerito alcune soluzioni per la valorizzazione in ambienti culturali, educativi ed espositivi, con particolare attenzione al settore museale.
I dati e la loro struttura organizzativa potranno essere presentati in altri contesti o usati per ricavare nuove restituzioni.
Ai sistemi tecnologici sperimentati sarà possibile aggiungere nuove funzioni, integrare dati e tecniche comunicative, con l'obiettivo di arricchire l'esperienza di apprendimento.
Si è vista l'importanza e l'utilità delle applicazioni tecnologiche nel campo dei Beni Culturali, con la diffusione e l'affermazione in tutti i settori d'indagine, con l'adattamento di sistemi sviluppati in altri ambiti, con il miglioramento delle procedure di studio, di documentazione e di valorizzazione.
La tecnologia, però, non costituisce lo scopo di questa ricerca, ma uno strumento per focalizzare l'attenzione sul bene culturale e il messaggio comunicativo. Si è visto, inoltre, che è fondamentale

mantenere un approccio scientifico ed esaminare la metodologia adatta al caso applicativo e agli obiettivi (*best practices*), sfruttando le potenzialità di ciascuna tecnologia con un occhio agli sviluppi nell'ambito della sensoristica e agli incrementi delle *performances* dei singoli costituenti il sistema tecnologico.

L'integrazione di più fonti di dato, contenuti e sistemi ha dimostrato essere una soluzione efficace, perché presenta il bene culturale e ne spiega il significato, lo associa ad altri elementi informativi e tecniche comunicative, crea un'esperienza di apprendimento, si rivolge ad un pubblico eterogeneo, per fasce di età, formazione e cultura.

APPENDICE A

Metadata e *paradata*

Gli schemi per la gestione dei *metadata* e *paradata,* adottati in questo contesto, seguono le linee guida riportate in *3D Icons. Guidelines and case studies*[1] e sono stati distribuiti durante la III Summer School Rilievo e Modellazione 3D (Paestum, giugno 2014), organizzata dal gruppo 3D Optical Metrology (Fondazione Bruno Kessler, Trento) e dall'Università di Salerno.

Di seguito si riportano gli schemi con i dati relativi alle strumentazioni ed alle tecniche usate per la digitalizzazione dei seguenti oggetti: statua maschile in marmo bianco, iscrizione rupestre del Monte Venda, cippo di Galzignano, cippo di Teolo.

[1] CORNS 2014.

Metadata, statua maschile in marmo bianco, Museo Archeologico Nazionale di Venezia

ORGANIZZAZIONE		
	Nome	Museo Archeologico Nazionale di Venezia
	Data di creazione	1924
	Persona da contattare (nome)	Direttrice del Museo, dott.ssa Annamaria Larese
	Descrizione/note	Museo statale, con sede presso le Procuratie Nuove (Piazza San Marco, Venezia), dove sono conservati reperti greci e romani.

COLLEZIONE		
	Nome	Sala 9, Ritratti romani
	Persona da contattare (nome)	dott.ssa Annamaria Larese
	Copyright	Polo Museale del Veneto, presso piazza San Marco 63, 30124, Venezia.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	
	Nome del periodo	Romano imperiale
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	
	Indirizzo	Piazza San Marco, 52, 30124, Venezia.
	Coordinate	45°26'01.01"N, 12°20'13.87"E

BENE CULTURALE		
	Nome	Statua maschile in marmo bianco, da Montegrotto Terme (Pd)
	ID	
	Collezione	Romanizzazione
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Manufatto
	Descrizione	La scultura rappresenta un uomo in piedi di età matura, con busto nudo; la parte inferiore del corpo è avvolta in un mantello che sale e copre la spalla sinistra. Il reperto è quasi integro, ma la superficie è stata corrosa dagli agenti chimici presenti nel terreno termale, in cui si è conservata fino al 1766. Non si conosce con esattezza il luogo del ritrovamento e la sua collocazione in antico, ma la presenza del vaso rovesciato suggerisce un ambiente termale, mentre la lavorazione corsiva della parte posteriore suggerisce la posizione all'interno di una nicchia, probabilmente sopra ad un piedistallo, poiché la visione ottimale è dal basso. Oggi, è posta sopra una base moderna, che riporta l'iscrizione con l'atto di donazione.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Scultura
	Copyright	dott.ssa Annamaria Larese
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	125-150 d.C.
	Nome del periodo	Romano imperiale
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	Museo Archeologico Nazionale di Venezia
	Indirizzo	Piazza San Marco, 52, 30124, Venezia.
	Coordinate	45°26'01.01"N 12°20'13.87"E
Dati tecnici	Materiale	Marmo a grana fine
	Unità di misura	Millimetro
	Altezza	Statua: 1,982 m Statua + base moderna: 2,504 m
	Profondità	Statua: 0,426 m Base moderna: 0,426 m
	Larghezza	Statua: 0,610 m Base moderna: 0,885 m

Paradata, statua maschile in marmo bianco, Museo Archeologico Nazionale di Venezia

Tipo di rilievo / Acquisizione dati				
	Image-based (sensori passivi)			
	Range-based (sensori attivi)			
	Topografico/ Geodetico			
	CAD / mappe/ sezioni / Sketch-up			
Sensori/strumenti impiegati				
	Fotocamera digitale compatta/amatoriale			
	Fotocamera digitale SLR/*Reflex*			
	Fotocamera digitale panoramica			
	TOF-CW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	TOF-PW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	Laser scanner a triangolazione ottica			
		Marca / Modello / Tipo		Konica Minolta, Non-contact 3D Digitizer Vivid 910
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		0,7 mm (lente *wide*)
		RGB camera [si/no]		si
Info oggetto/scena				
	Nome del Bene Culturale (ID)			
	Posizione (città, museo, sito, ecc.)			Museo Archeologico Nazionale di Venezia
	Dimensioni (H x P x L)			2,504 x 0,426 x 0,885 m
	Unità			millimetro
	Interno/esterno			Interno
	Materiale (marmo, vetro, pietra, legno, ferro, ecc.)			Marmo a grana fine
	Caratteristiche della superficie (translucida, opaca, porosa, ecc.)			Opaca, porosa
	Data del rilievo *range-based*			9 maggio 2013
	Data del rilievo *image-based*			10 marzo 2014
	Operatore			Rilievo *range-based*: Emanuela Faresin (Università di Padova) Rilievo *image-based*: Samanta Greggio (Università di Padova)

Acquisizione dati			
	FOTOCAMERA/ IMMAGINI		
	Calibrazione geometrica? [si/no]		no
	Calibrazione radiometrica / profili di colore? [si/no]		no
	Scacchiera (*checkboard)* colori? [si/no]		no
	Focus [auto/manuale]		manuale
	Qualità / formato		RAW, JPEG-Fine
	Flash [on/off]		off
	luce artificiale *extra* (lampade)		no
	Controllo della luce ambientale? [si/no]		no
	Baseline media [valore]		20 cm
	Distanza media fotocamera / oggetto		Fronte: 1 m Retro/lato: 30 – 50 cm
	Stabilizzazione immagine ottica [on/off]		
	Stabilizzazione immagini digitali [on/off]		
	Numero d'immagini [valore]		364
	Immagini HDR? [si/no]		no
	Numero medio d'immagini sovrapposte [valore]		4
	Uso di *target* codificati? [si/no]		no
	Ground Control Points (GCPs)? [si/no]		no
		Numero	
	Riferimento / distanza conosciuta? [si/no]		si
		numero [valore]	5
		Lunghezza media [valore]	300 mm
	ATTIVO / SCANNER		
	Sensore calibrato? [si/no]		si
		Data di calibrazione	
	Numero di scansioni [valore]		59
	Nuvola [valore]		59
	Nuvola + intensità [valore]		640 x 480 matrice
	Nuvola + intensità + RGB [valore]		640 x 480 intensità colore
		Fotocamera calibrata? [si/no]	
		Risoluzione immagine? [valore]	
		Immagini HDR? [si/no]	
	Livellato?		
	Asse doppio compensatore [on/off]		
	Targets? [si/no]		no
	Passo minimo di campionamento [valore]		
	Passo massimo di campionamento [valore]		
	Passo medio di campionamento [valore]		20-30 cm
	Distanza minima di acquisizione [valore]		
	Distanza massima di acquisizione [valore]		
	Distanza media di acquisizione [valore]		1 m
	CAD-*like*		
	Fonte dati		
	Tipo dati		
		Mappe digitalizzate / sezioni	
		Immagini storiche	
	Metriche/Scalate? [si/no]		

Registrazione dati / allineamento / elaborazione					
	FOTOCAMERA / IMMAGINI				
	Orientamento automatico immagini / allineamento con SfM? [si/no]				si
	Guidato/allineamento manuale [si/no]				no
	Accuratezza orientamento immagini /allineamento [valore in px]				Accuratezza proiezione: 0.1 px
	Scalare & geo-referenziare con GCPs? [si/no]				no
	Scalare con riferimento di distanza? [si/no]				si
	Software impiegato				Agisoft Photoscan
	Operatore				Samanta Greggio (Università di Padova)
	ATTIVO / *SCANNER*				
	Registrazione basata su *target* o sfere? [si/no]				no
	Registrazione ICP o simile?				si
	S*tandard deviation* della procedura di registrazione [valore in mm]				1,681 mm
	geo-referenziato? [si/no]				no
Modello geometrico					
	Spazio tra i punti della *mesh* ricostruita [valore in mm]				Da 0.5 mm a 2 mm
		Numero di triangoli [valore in mm]			
	Lisciamento / filtraggio [si/no]				si
		Auto [si/no]			no
		Tolleranza [valore in mm]			
	Decimazione *mesh* / semplificazione [si/no]				si
		Conta dei triangoli [si/no]			si
		Tolleranza [valore in mm]			
	Numero finale di triangoli [valore]				1.895.026
Texture mapping					
	Immagini reali [si/no]				si
	Immagini artificiali (*synthetic*) [si/no]				no
	Bump mapping [si/no]				no
	Image-based				si
		Immagini esterne (per *texturing* multispettrale per esempio)			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		no
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		no
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		no
	Range-based				
		Immagini da *scanner*? [si/no]			si
		Immagini esterne			si
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		si
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		no
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		no
	Colore-vertice [si/no]				si
	Texture parametriche [si/no]				si

Metadata, iscrizione rupestre del Monte Venda, Museo Nazionale Atestino

ORGANIZZAZIONE		
	Nome	Museo Nazionale Atestino
	Data di creazione	1902
	Persona da contattare (nome)	Direttrice del Museo, dott.ssa Giovanna Gambacurta
	Descrizione/note	Museo statale, con sede presso il Palazzo Mocenigo di Este. Conserva principalmente reperti archeologici di provenienza locale, datati prima della Romanizzazione.

COLLEZIONE		
	Nome	Sala di Romanizzazione
	Persona da contattare (nome)	Direttrice del Museo, dott.ssa Giovanna Gambacurta
	Copyright	Polo Museale del Veneto, presso piazza San Marco 63, 30124, Venezia.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	
	Indirizzo	via Guido Negri, 9, 35042, Este, Padova.
	Coordinate	45°13'45.21'' N, 11°39°23.55''E

BENE CULTURALE		
	Nome	Iscrizione rupestre del Monte Venda (Colli Euganei)
	ID	
	Collezione	Romanizzazione
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Manufatto
	Descrizione	Il manufatto presenta 2 testi epigrafici, con lo stesso significato e differente tecnica di realizzazione. Probabilmente furono incisi da maestranze diverse in 2 distinti momenti. La funzione era di segnare il confine tra i territori di Padova ed Este.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Cippo confinario
	Copyright	Polo Museale del Veneto, presso piazza San Marco 63, 30124, Venezia.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	141 a.C.
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	Museo Nazionale Atestino
	Indirizzo	via Guido Negri, 9, 35042, Este, Padova.
	Coordinate	45°13'45.21'' N, 11°39°23.55''E
Dati tecnici	Materiale	Trachite
	Unità di misura	Metro
	Altezza	1,232 m
	Profondità	0,36 m
	Larghezza	0,95 m

Paradata, iscrizione rupestre del Monte Venda, Museo Nazionale Atestino

Tipo di rilievo / Acquisizione dati				
	Image-based (sensori passivi)			
	Range-based (sensori attivi)			
	Topografico/ Geodetico			
	CAD / mappe/ sezioni / Sketch-up			
Sensori/strumenti impiegati				
	Fotocamera digitale compatta/amatoriale			
	Fotocamera digitale SLR/*Reflex*			
	Fotocamera digitale panoramica			
	TOF-CW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	TOF-PW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	Laser scanner a triangolazione ottica			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		RGB camera [si/no]		
Info oggetto/scena				
	Nome del Bene Culturale (ID)			
	Posizione (città, museo, sito, ecc.)			Museo Nazionale Atestino
	Dimensioni (H x P x L)			1,232 x 0,36 x 0,95 m
	Unità			metro
	Interno/esterno			Interno
	Materiale (marmo, vetro, pietra, legno, ferro, ecc.)			Trachite
	Caratteristiche della superficie (translucida, opaca, porosa, ecc.)			Opaca, porosa
	Data del rilievo			30 settembre 2014
	Operatore			Samanta Greggio (Università di Padova)

Acquisizione dati			
	FOTOCAMERA/ IMMAGINI		
	Calibrazione geometrica? [si/no]		no
	Calibrazione radiometrica / profili di colore? [si/no]		no
	Scacchiera (*checkboard)*colori? [si/no]		no
	Focus [auto/manuale]		manuale
	Qualità / formato		RAW, JPEG FINE
	Flash [on/off]		off
	luce artificiale *extra* (lampade)		no
	Controllo della luce ambientale? [si/no]		si
	Baseline media [valore]		10 cm
	Distanza media fotocamera / oggetto		72 cm
	Stabilizzazione immagine ottica [on/off]		
	Stabilizzazione immagini digitali [on/off]		
	Numero d'immagini [valore]		1076
	Immagini HDR? [si/no]		no
	Numero medio d'immagini sovrapposte [valore]		6
	Uso di *target* codificati? [si/no]		no
	Ground Control Points (GCPs)? [si/no]		no
		numero	
	Riferimento / distanza conosciuta? [si/no]		si
		numero [valore]	5
		Lunghezza media [valore]	0,10 m
	ATTIVO / *SCANNER*		
	Sensore calibrato? [si/no]		
		Data di calibrazione	
	Numero di scansioni [valore]		
	Nuvola [valore]		
	Nuvola + intensità [valore]		
	Nuvola + intensità + RGB [valore]		
		Fotocamera calibrata? [si/no]	
		Risoluzione immagine? [valore]	
		Immagini HDR? [si/no]	
	Livellato?		
	Asse doppio compensatore [on/off]		
	Targets? [si/no]		
	Passo minimo di campionamento [valore]		
	Passo massimo di campionamento [valore]		
	Passo medio di campionamento [valore]		
	Distanza minima di acquisizione [valore]		
	Distanza massima di acquisizione [valore]		
	Distanza media di acquisizione [valore]		
	CAD-*like*		
	Fonte dati		
	Tipo dati		
		Mappe digitalizzate / sezioni	
		Immagini storiche	
	Metriche/Scalate? [si/no]		

Registrazione dati / allineamento / elaborazione					
	FOTOCAMERA / IMMAGINI				
	Orientamento automatico immagini / allineamento con SfM? [si/no]				si
	Guidato/allineamento manuale [si/no]				no
	Accuratezza orientamento immagini /allineamento [valore in px]				Accuratezza proiezione: 0.1 px
	Scalare & geo-referenziare con GCPs? [si/no]				no
	Scalare con riferimento di distanza? [si/no]				si
	Software impiegato				Agisoft Photoscan
	Operatore				Samanta Greggio (Università di Padova)
	ATTIVO / *SCANNER*				
	Registrazione basata su *target* o sfere? [si/no]				
	Registrazione ICP o simile?				
	S*tandard deviation* della procedura di registrazione [valore in mm]				
	geo-referenziato? [si/no]				
Modello geometrico					
	Spazio tra i punti della *mesh* ricostruita [valore in mm]				0,05 mm
		Numero di triangoli [valore in mm]			
	Lisciamento / filtraggio [si/no]				no
		Auto [si/no]			
		Tolleranza [valore in mm]			
	Decimazione *mesh* / semplificazione [si/no]				si
		Conta dei triangoli [si/no]			si
		Tolleranza [valore in mm]			
	Numero finale di triangoli [valore]				2.635.104
Texture mapping					
	Immagini reali [si/no]				si
	Immagini artificiali (*synthetic*) [si/no]				no
	Bump mapping [si/no]				no
	Image-based				si
		Immagini esterne (per *texturing* multispettrale per esempio)			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		no
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		no
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		no
	Range-based				
		Immagini da *scanner*? [si/no]			
		Immagini esterne			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		
	Colore-vertice [si/no]				si
	Texture parametriche [si/no]				si

Metadata, cippo confinario di Galzignano, Museo Nazionale Atestino

ORGANIZZAZIONE		
	Nome	Museo Nazionale Atestino
	Data di creazione	1902
	Persona da contattare (nome)	dott.ssa Giovanna Gambacurta
	Descrizione/note	Museo statale, con sede presso il Palazzo Mocenigo di Este. Conserva principalmente reperti archeologici di provenienza locale, datati prima del periodo di Romanizzazione.

COLLEZIONE		
	Nome	Sala di Romanizzazione
	Persona da contattare (nome)	Direttrice del museo, dott.ssa Giovanna Gambacurta
	Copyright	Polo Museale del Veneto, presso piazza San Marco 63, 30124, Venezia.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	
	Indirizzo	via Guido Negri, 9, 35042, Este, Padova.
	Coordinate	45°13'45.21'' N, 11°39°23.55''E

BENE CULTURALE		
	Nome	Cippo di Galzignano (Colli Euganei)
	ID	
	Collezione	Romanizzazione
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Manufatto
	Descrizione	Il manufatto presenta un testo epigrafico e segnava il confine tra i territori di Este e Padova.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Cippo confinario
	Copyright	Polo Museale del Veneto, presso piazza San Marco 63, 30124, Venezia.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	141 a.C.
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	Museo Archeologico Nazionale di Este
	Indirizzo	via Guido Negri, 9, 35042, Este, Padova.
	Coordinate	45°13'45.21'' N, 11°39°23.55''E
Dati tecnici	Materiale	Trachite
	Unità di misura	Metro
	Altezza	3,24 m
	Diametro	0,629 m

Paradata, cippo confinario di Galzignano, Museo Nazionale Atestino

Tipo di rilievo / Acquisizione dati				
	Image-based (sensori passivi)			
	Range-based (sensori attivi)			
	Topografico/ Geodetico			
	CAD / mappe/ sezioni / Sketch-up			
Sensori/strumenti impiegati				
	Fotocamera digitale compatta/amatoriale			
	Fotocamera digitale SLR/*Reflex*			
	Fotocamera digitale panoramica			
	TOF-CW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	TOF-PW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			Calibrato? [si/no]	
	Laser scanner a triangolazione ottica			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		RGB camera [si/no]		
Info oggetto/scena				
	Nome del Bene Culturale (ID)			
	Posizione (città, museo, sito, ecc.)			Museo Nazionale Atestino
	dimensioni (H x D)			3,24 x 0,629 m
	Unità			metro
	Interno/esterno			Interno
	Materiale (marmo, vetro, pietra, legno, ferro, ecc.)			Trachite
	Caratteristiche della superficie (translucida, opaca, porosa, ecc.)			Opaca, porosa
	Data del rilievo			30 settembre 2014
	Operatore			Samanta Greggio (Università di Padova)

Acquisizione dati			
	FOTOCAMERA/ IMMAGINI		
	Calibrazione geometrica? [si/no]		no
	Calibrazione radiometrica / profili di colore? [si/no]		no
	Scacchiera (*checkboard)*colori? [si/no]		no
	Focus [auto/manuale]		manuale
	Qualità / formato		RAW, JPEG FINE
	Flash [on/off]		off
	luce artificiale *extra* (lampade)		no
	Controllo della luce ambientale? [si/no]		si
	Baseline media [valore]		10 cm
	Distanza media fotocamera / oggetto		60 cm
	Stabilizzazione immagine ottica [on/off]		
	Stabilizzazione immagini digitali [on/off]		
	Numero d'immagini [valore]		717
	Immagini HDR? [si/no]		no
	Numero medio d'immagini sovrapposte [valore]		6
	Uso di *target* codificati? [si/no]		no
	Ground Control Points (GCPs)? [si/no]		no
		numero	
	Riferimento / distanza conosciuta? [si/no]		si
		numero [valore]	5
		Media lunghezza [valore]	0.08 m
	ATTIVO / *SCANNER*		
	Sensore calibrato? [si/no]		
		Data di calibrazione	
	Numero di scansioni [valore]		
	Nuvola [valore]		
	Nuvola + intensità [valore]		
	Nuvola + intensità + RGB [valore]		
		Fotocamera calibrata? [si/no]	
		Risoluzione immagine? [valore]	
		Immagini HDR? [si/no]	
	Livellato?		
	Asse doppio compensatore [on/off]		
	Targets? [si/no]		
	Passo minimo di campionamento [valore]		
	Passo massimo di campionamento [valore]		
	Passo medio di campionamento [valore]		
	Distanza minima di acquisizione [valore]		
	Distanza massima di acquisizione [valore]		
	Distanza media di acquisizione [valore]		
	CAD-*like*		
	Fonte dati		
	Tipo di dato		
		Mappe digitalizzate / Sezioni	
		Immagini storiche	
	Metriche/Scalate? [si/no]		

Registrazione dati / allineamento / elaborazione					
	FOTOCAMERA / IMMAGINI				
	Orientamento automatico immagini / allineamento con SfM? [si/no]				si
	Guidato/allineamento manuale? [si/no]				no
	Accuratezza orientamento immagini /allineamento [valore in px]				Accuratezza proiezione: 0.1 px
	Scalare& geo-referenziare con GCPs? [si/no]				no
	Scalare con riferimento di distanza? [si/no]				si
	Software impiegato				Agisoft Photoscan
	Operatore				Samanta Greggio (Università di Padova)
	ATTIVO / SCANNER				
	Registrazione basata su *target* o sfere? [si/no]				
	Registrazione ICP o simile?				
	Standard deviation della procedura di registrazione [valore in mm]				
	geo-referenziato? [si/no]				
Modello geometrico					
	Spazio tra i punti della *mesh* ricostruita [valore in mm]				0,05 mm
		Numero di triangoli [valore in mm]			
	Lisciamento / filtraggio [si/no]				no
		Auto [si/no]			
		Tolleranza [valore in mm]			
	Decimazione *mesh* / semplificazione [si/no]				si
		Conta dei triangoli [si/no]			si
		Tolleranza [valore in mm]			
	Numero finale di triangoli [valore]				2.946.770
Texture mapping					
	Immagini reali [si/no]				si
	Immagini artificiali (*synthetic*) [si/no]				no
	Bump mapping [si/no]				no
	Image-based				si
		Immagini esterne (per *texturing* multispettrale per esempio)			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		no
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		no
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		no
	Range-based				
		Immagini da *scanner*? [si/no]			
		Immagini esterne			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		
				Manuale	
				Automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		
	Colore-vertice [si/no]				si
	Texture parametriche [si/no]				si

Metadata, cippo confinario di Teolo, Musei Civici agli Eremitani di Padova

ORGANIZZAZIONE		
	Nome	Museo Archeologico, presso i Musei Civici agli Eremitani di Padova
	Data di creazione	1985
	Persona da contattare (nome)	Direttore Musei Civici di Padova dott. Davide Banzato e responsabile della sezione archeologia dott.ssa Francesca Veronese
	Descrizione/note	Museo Civico, con sede presso il convento degli Eremitani. Conserva reperti veneti, romani ed egiziani.

COLLEZIONE		
	Nome	
	Persona da contattare (nome)	Responsabile della sezione archeologia, dott.ssa Francesca Veronese
	Copyright	Comune di Padova – Assessorato Cultura e Turismo, via Porciglia, 35, Padova.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	
	Indirizzo	Deposito del Museo presso la Scuola Paccinotti, via Colonello de Cristoforis 2, Padova.
	Coordinate	45°13'45.21'' N, 11°39°23.55''E

BENE CULTURALE		
	Nome	Cippo di Teolo (Colli Euganei)
	ID	
	Collezione	
	Tipo generale (manufatto, reperto, monumento, ecc.)	Manufatto
	Descrizione	Il cippo è diviso in 2 blocchi: il frammento A, di dimensioni maggiori, e B, di dimensioni minori. Vi è un'iscrizione su ciascun blocco, con testi simili, ma realizzati da maestranze diverse in 2 momenti distinti.
	Classificazione generale (scultura, tomba, ecc.)	Cippo confinario
	Copyright	Comune di Padova – Assessorato Cultura e Turismo, via Porciglia, 35, Padova.
	Europeana Rights	
Temporale	Datazione	141 a.C.
	Nome del periodo	Romanizzazione
	Data d'inizio	
	Data di fine	
Spaziale	Nome del luogo di posizione	Deposito dei Musei Civici agli Eremitani
	Indirizzo	Deposito del Museo, presso la Scuola Paccinotti, via Colonello de Cristoforis 2, Padova.
	Coordinate	45°24'48.70''N, 11°54'23.85'' E
Dati tecnici	Materiale	Trachite
	Unità di misura	Metro
	Altezza	Frammento A 0,90 m /Frammento B 0,49 m
	Diametro	Frammento A 0,64 m /Frammento B 0,50 m

Paradata, cippo confinario di Teolo, Musei Civici agli Eremitani di Padova

Tipo di rilievo / Acquisizione dati				
	Image-based (sensori passivi)			
	Range-based (sensori attivi)			
	Topografico/ Geodetico			
	CAD / mappe/ sezioni / Sketch-up			
Sensori/strumenti impiegati				
	Fotocamera digitale compatta/amatoriale			
	Fotocamera digitale SLR/*Reflex*			
	Fotocamera digitale panoramica			
	TOF-CW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	TOF-PW *laser scanner* terrestre			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		Fotocamera digitale		
			calibrato? [si/no]	
	Laser scanner a triangolazione ottica			
		Marca / Modello / Tipo		
		Rumore nel segnale di ritorno (da scheda tecnica)		
		RGB camera [si/no]		
Info oggetto/scena				
	Nome del Bene Culturale (ID)			
	Posizione (città, museo, sito, ecc.)			Deposito dei Musei Civici agli Eremitani
	dimensioni (H x D)			Frammento A 0,90 x 0,64 m Frammento B 0,49 x 0,50 m
	Unità			metro
	Interno/esterno			Esterno
	Materiale (marmo, vetro, pietra, legno, ferro, ecc.)			Trachite
	Caratteristiche della superficie (translucida, opaca, porosa, ecc.)			Opaca, porosa
	Data del rilievo			9 ottobre 2014
	Operatore			Samanta Greggio (Università di Padova)

Acquisizione dati			
	FOTOCAMERA/ IMMAGINI		
	Calibrazione geometrica? [si/no]		no
	Calibrazione radiometrica / profili di colore? [si/no]		no
	Scacchiera (*checkboard)*colori? [si/no]		no
	Focus [auto/manuale]		manuale
	Qualità / formato		RAW, JPEG FINE
	Flash [on/off]		off
	luce artificiale *extra* (lampade)		no
	Controllo della luce ambientale? [si/no]		no
	Baseline media [valore]		8 cm
	Distanza media fotocamera / oggetto		90 cm
	Stabilizzazione immagine ottica [on/off]		
	Stabilizzazione immagini digitali [on/off]		
	Numero d'immagini [valore]		Frammento A 345 Frammento B 204
	Immagini HDR? [si/no]		no
	Numero medio d'immagini sovrapposte [valore]		8
	Uso di *target* codificati? [si/no]		no
	Ground Control Points (GCPs)? [si/no]		no
		numero	
	Riferimento / distanza conosciuta? [si/no]		si
		numero [valore]	8
		Media lunghezza [valore]	0.10 m
	ATTIVO / *SCANNER*		
	Sensore calibrato? [si/no]		
		Data di calibrazione	
	Numero di scansioni [valore]		
	Nuvola [valore]		
	Nuvola + intensità [valore]		
	Nuvola + intensità + RGB [valore]		
		Fotocamera calibrata? [si/no]	
		Risoluzione immagine? [valore]	
		Immagini HDR? [si/no]	
	Livellato?		
	Asse doppio compensatore [on/off]		
	Targets? [si/no]		
	Passo minimo di campionamento [valore]		
	Passo massimo di campionamento [valore]		
	Passo medio di campionamento [valore]		
	Distanza minima di acquisizione [valore]		
	Distanza massima di acquisizione [valore]		
	Distanza media di acquisizione [valore]		
	CAD-*like*		
	Fonte dati		
	Tipo dati		
		Mappe digitalizzate / sezioni	
		Immagini storiche	
	Metrico/Scalate? [si/no]		

Registrazione dati / allineamento / elaborazione					
	FOTOCAMERA / IMMAGINI				
	Orientamento automatico immagini / allineamento con SfM? [si/no]				si
	Guidato/allineamento manuale [si/no]				no
	Accuratezza orientamento immagini /allineamento [valore in px]				Accuratezza proiezione: 0.1 px
	Scalare & geo-referenziare con GCPs? [si/no]				no
	Scalare con riferimento di distanza? [si/no]				si
	Software impiegato				Agisoft Photoscan
	Operatore				Samanta Greggio (Università di Padova)
	ATTIVO / *SCANNER*				
	Registrazione basata su *target* o sfere? [si/no]				
	Registrazione ICP o simile?				
	Standard deviation della procedura di registrazione [valore in mm]				
	geo-referenziato? [si/no]				
Modello geometrico					
	Spazio tra i punti della *mesh* ricostruita [valore in mm]				0,05 mm
		Numero di triangoli [valore in mm]			
	lisciamento / filtraggio [si/no]				no
		Auto [si/no]			
		Tolleranza [valore in mm]			
	Decimazione *mesh* / semplificazione [si/no]				si
		Conta dei triangoli [si/no]			si
		Tolleranza [valore in mm]			
	Numero finale di triangoli [valore]				Frammento A 1914580 Frammento B 906934
Texture mapping					
	Immagini reali [si/no]				si
	Immagini artificiali (*synthetic*) [si/no]				no
	Bump mapping [si/no]				no
	Image-based				si
		Immagini esterne (per *texturing* multispettrale per esempio)			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		no
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		no
				manuale	
				automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		no
	Range-based				
		Immagini da *scanner*? [si/no]			
		Immagini esterne			
			Parametri di orientamento esterno (GNSS/INS, *bundle adjustment*, ecc.)		
			Immagine per la registrazione di *mesh* (DLT, *Tsai*, *resection*, ecc.)		
				manuale	
				automatizzato	
			Texturing con CG *software* (3DS, Maya, etc.)		
	Colore-vertice [si/no]				si
	Texture parametrizzate [si/no]				si

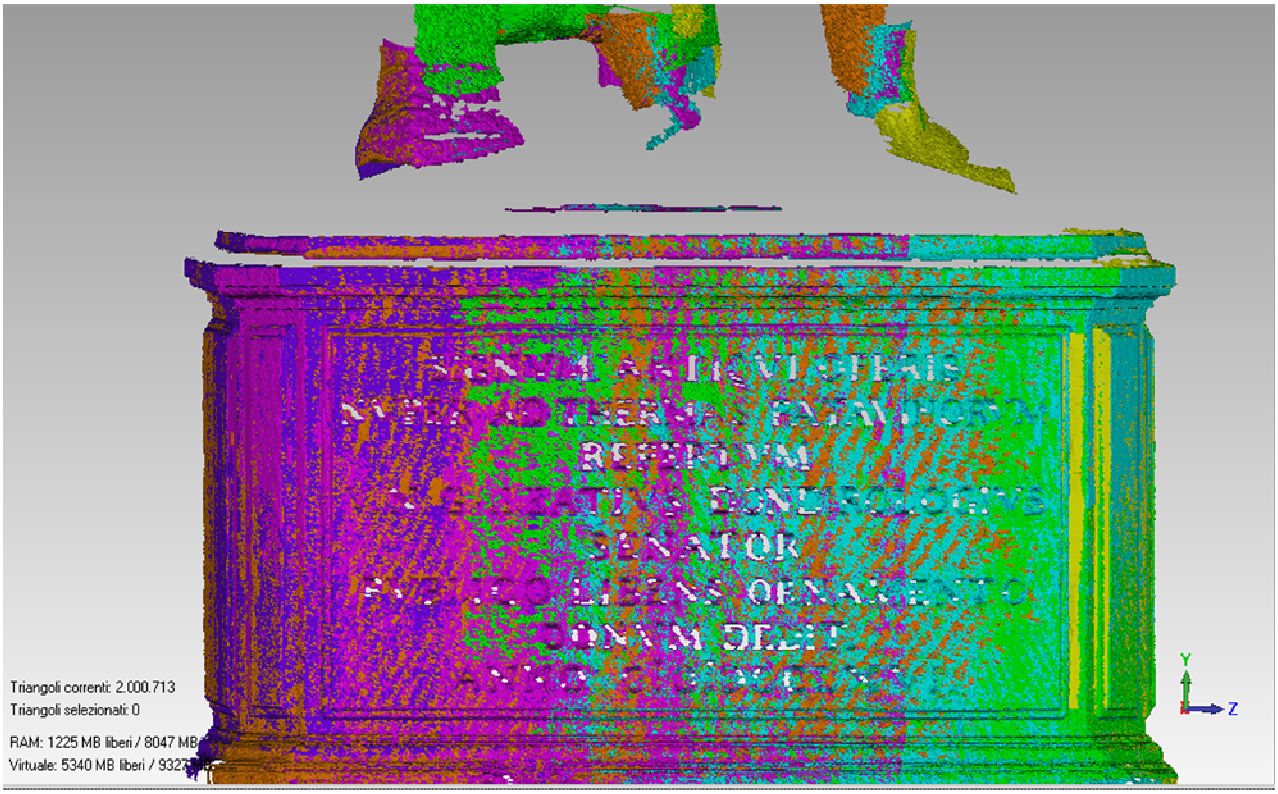
APPENDICE B

Statua maschile in marmo bianco.

Dati *range-based*

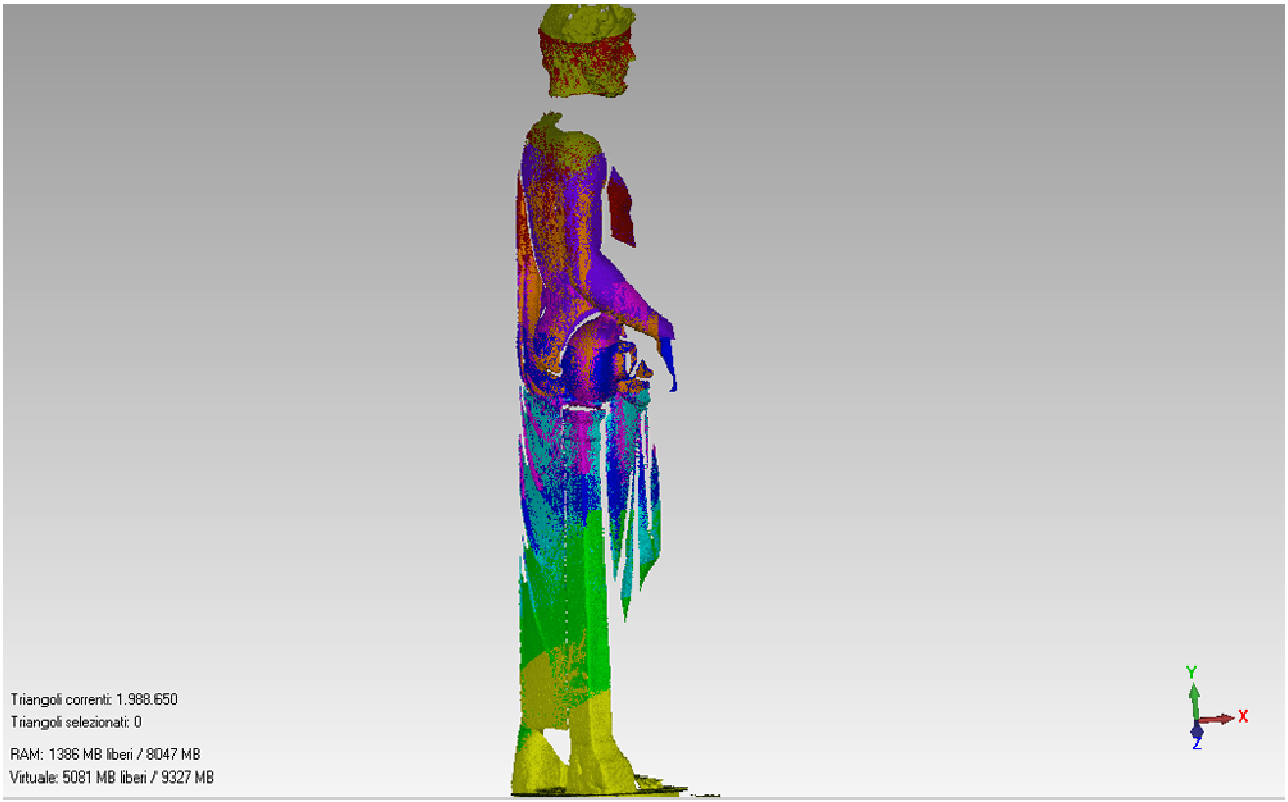
Si presenta il *dataset,* ottenuto con il rilievo *range-based* della statua maschile in marmo bianco, riportando i risultati di ogni singola fascia di acquisizione. In particolare, il numero di scansioni, alcuni dati sull'allineamento, i valori medi di *standard deviation* e distanza media, restituiti dal processo di registrazione globale, la percentuale di decimazione applicata, l'area della superficie ed il numero di poligoni.

Base moderna



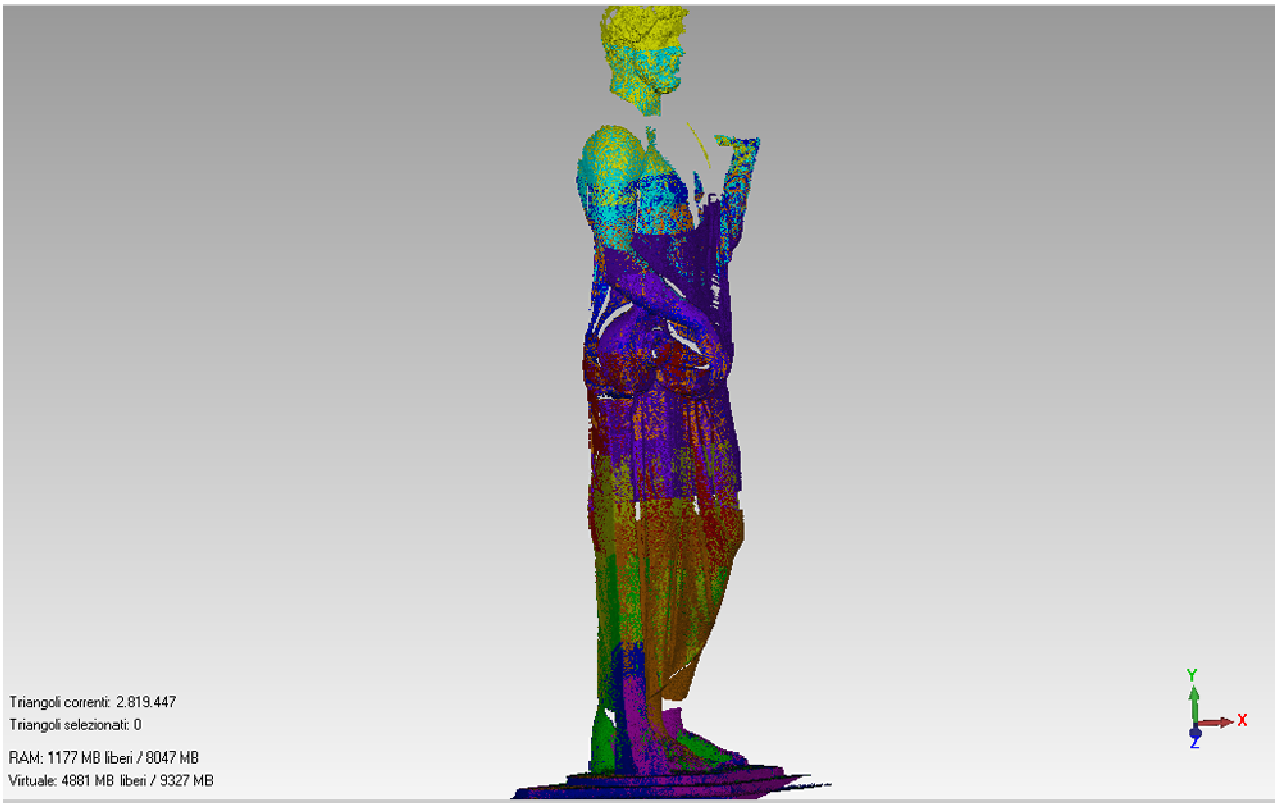
Numero scansioni	6
Distanza media	0,6 mm
Standard deviation	0,6 mm
Decimazione superficie	30%
Totale poligoni	2.068.554
Area superficie	1.159,072 mm^2

Lato destro 1



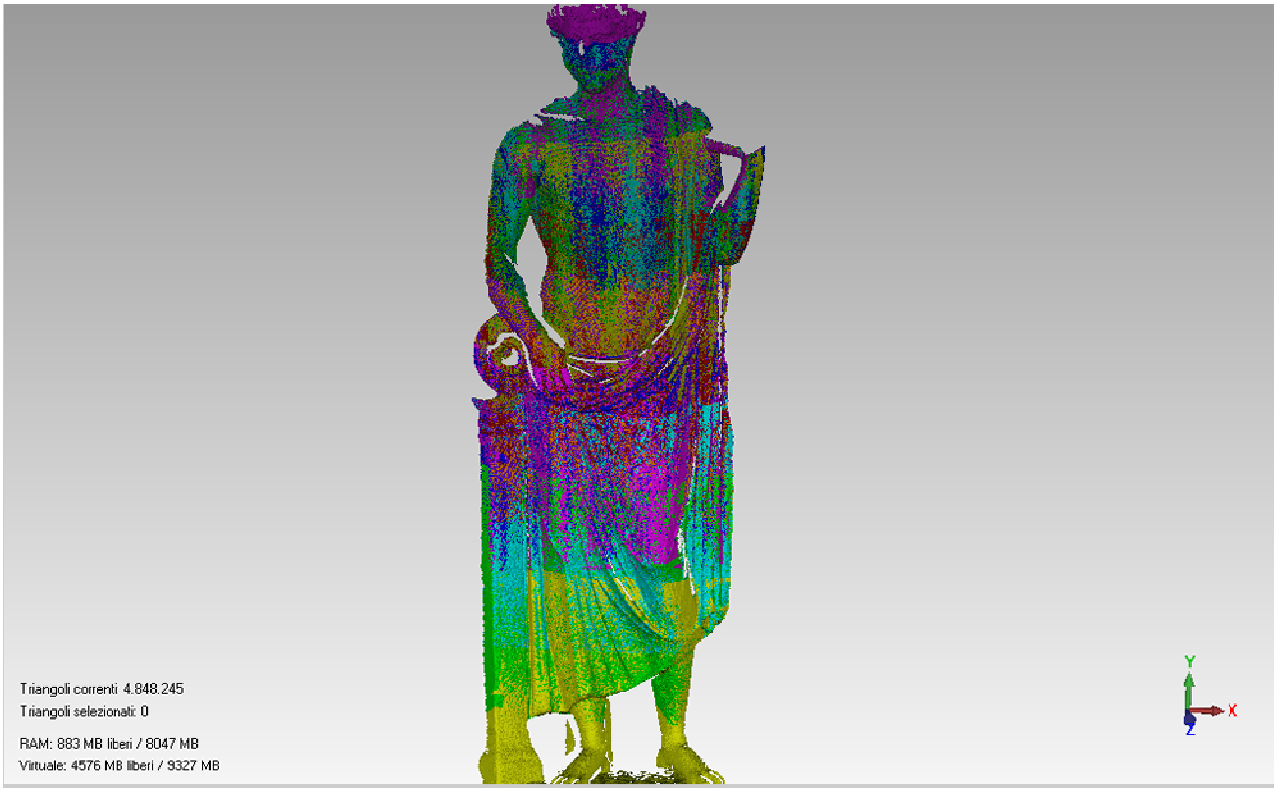
Numero scansioni	9
Distanza media	0,282 mm
Standard deviation	0,260 mm
Decimazione superficie	20%
Totale poligoni	1.988.650
Area superficie	1.008,966 mm^2

Lato destro 2



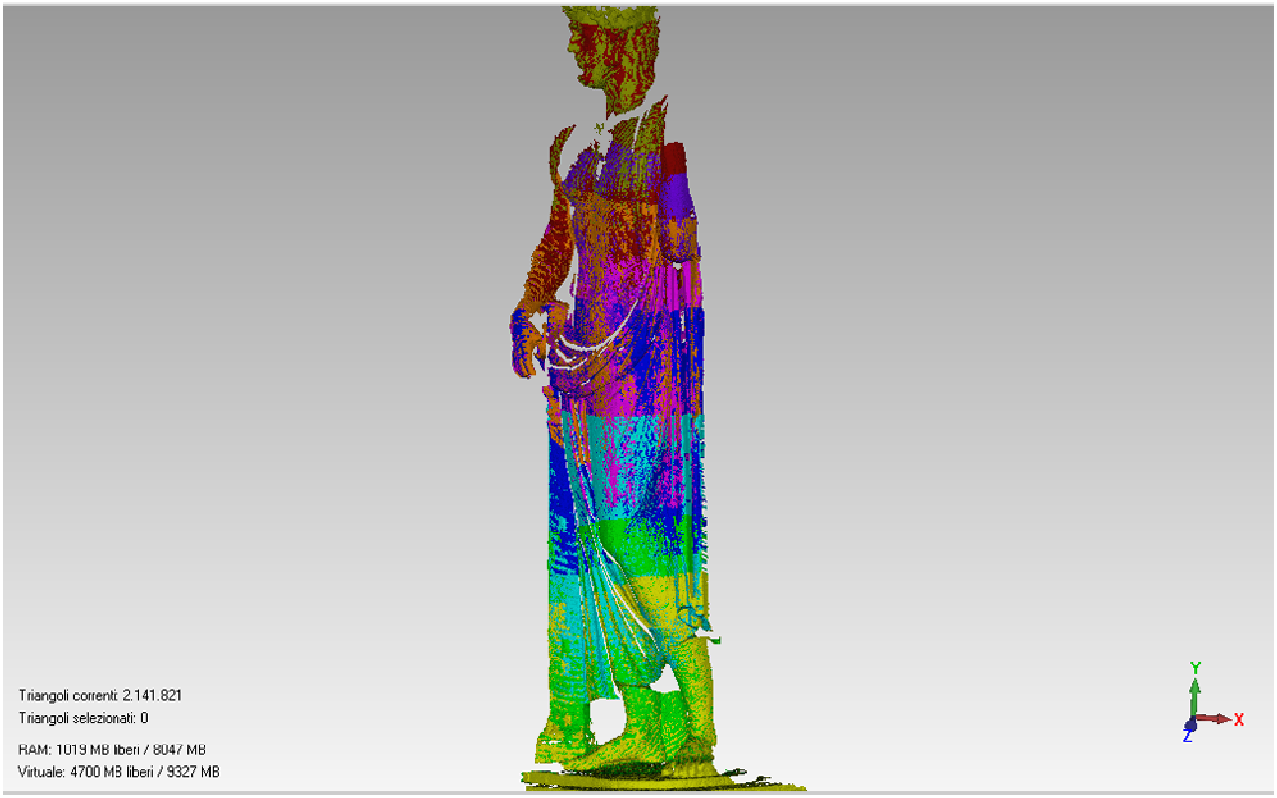
Numero scansioni	12
Distanza media	0,407 mm
Standard deviation	0,441 mm
Decimazione superficie	20%
Totale poligoni	2.488.690
Area superficie	1.654,264 mm^2

Fronte



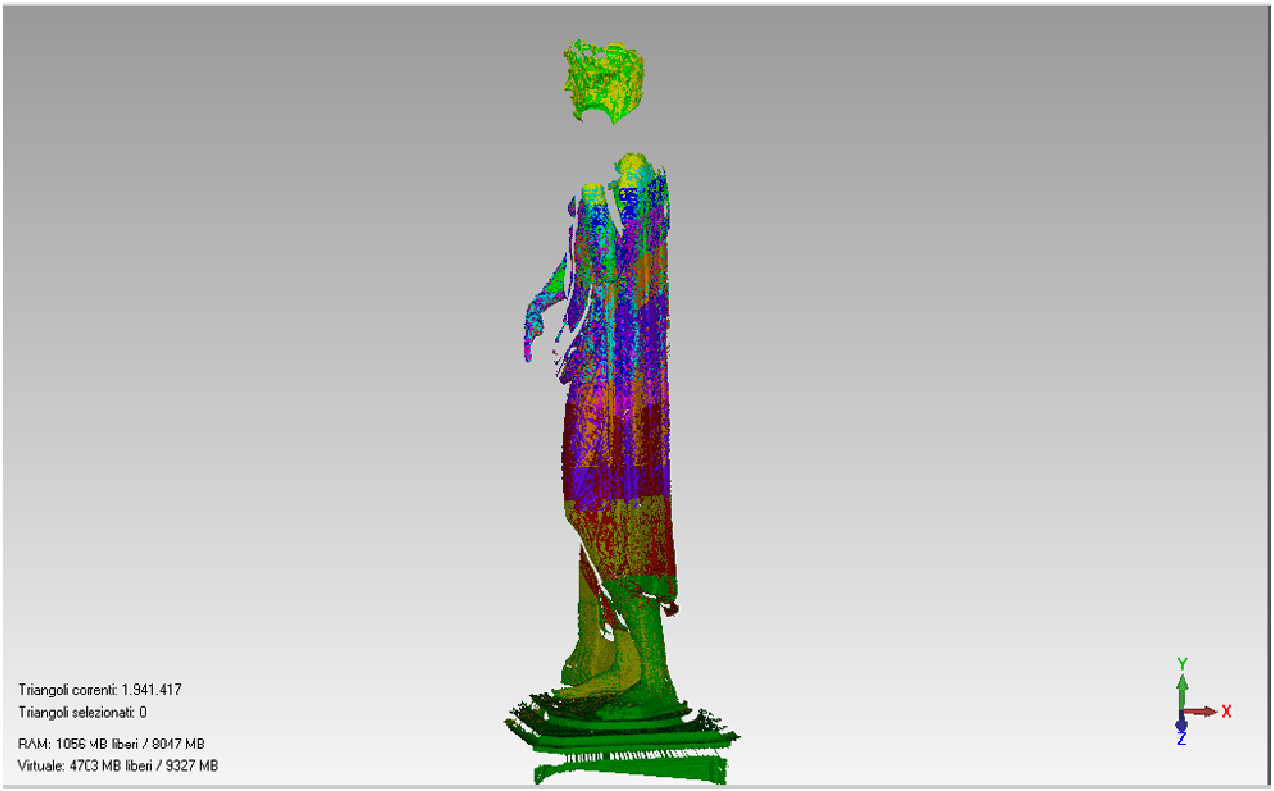
Numero scansioni	13
Distanza media	0,406 mm
Standard deviation	0,514 mm
Decimazione superficie	30%
Totale poligoni	1.834.851
Area superficie	1.449,782 mm^2

Lato sinistro 1



Numero scansioni	9
Distanza media	0,481 mm
Standard deviation	0,604 mm
Decimazione superficie	20%
Totale poligoni	1.160.944
Area superficie	1.206,111 mm^2

Lato sinistro 1



Numero scansioni	10
Distanza media	0,376 mm
Standard deviation	0,347 mm
Decimazione superficie	20%
Totale poligoni	1.060.573
Area superficie	1.058,146 mm^2

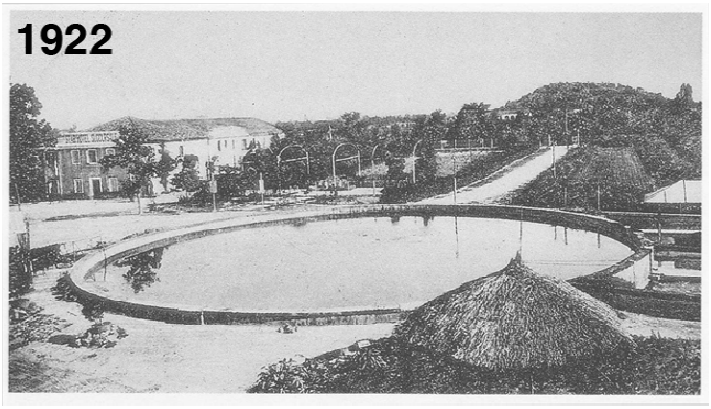
APPENDICE C

Montegrotto Terme, prima metà del 1900

Le immagini che seguono sono state presentate durante la mostra "*Montegrotto una storia per immagini*", allestita tra il 25 aprile ed il 18 maggio 1997 a Montegrotto Terme e poi pubblicate da C. Grandis[1].

Presso il Fondo Fotografico della Biblioteca Civica di Montegrotto Terme sono presenti altre immagini inedite (qui non inseribili perché non è stata concessa l'autorizzazione) che hanno restituito un quadro completo del territorio, prima dello sviluppo urbanistico della seconda metà del 1900. In particolare si focalizza l'attenzione attorno ai tre principali nuclei termali: via Neroniana, il Colle Bortolone e il Colle di San Pietro Montagnon.

Area di via Neroniana





Entrambe le immagini sono state acquisite da sud verso nord, ponendo in primo piano la grande vasca circolare, oggi convertita in aiuola, affiancata dalle vasche per i fanghi. Sullo sfondo, il Colle Bortolone, ora non più visibile a causa delle strutture moderne che lo circondano e dello spianamento, eseguito sulla sommità, per l'installazione delle piscine dell'Hotel Augustus.

Nelle immagini, che non è stato possibile inserire, sono presenti lo stabilimento, affiancato dalla piccola chiesa, dopo gli ammodernamenti del 1911, e le vasche per i fanghi, poste tra la chiesa e la grande vasca circolare.

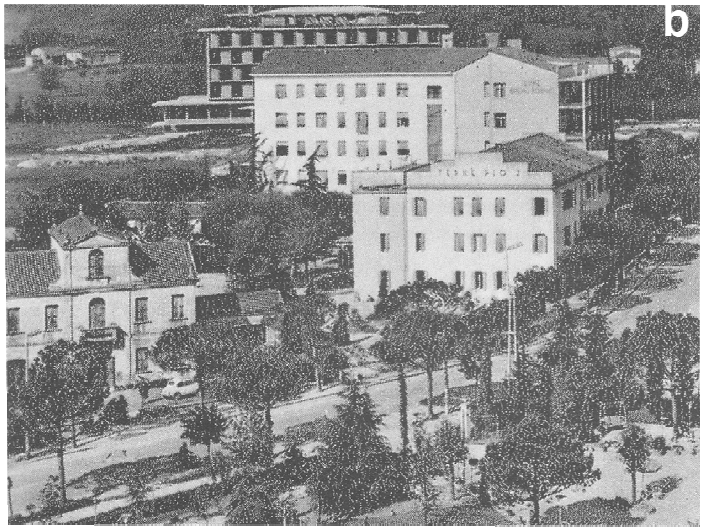
[1] GRANDIS 1997.

Area del Colle Bortolone

L'area attorno al Colle Bortolone, tra il 1944 e il 1949, appariva incolta ed era evidente il suo carattere paludoso. Erano presenti alcune sorgenti naturali ed era ben visibile il piccolo monte, non ancora interessato da trasformazioni antropiche e fiancheggiato da un'unica strada, che correva a sud.

Area di S. Pietro Montagnon





L'immagine *(a)* è stata acquisita tra il 1944 ed il 1949, durante la costruzione del Duomo di Montegrotto Terme, posto sulla sommità del Colle di San Pietro. Si nota, parzialmente, viale Stazione, ancora in terreno battuto. L'immagine *(b)* è stata rilevata più tardi, ma entro la fine degli anni '50, quando era ancora presente l'edificio nobile, raffigurato a sinistra in entrambe le foto. Lo stabilimento termale Pio X è stato oggi sostituito dall'Hotel Marco Polo.

BIBLIOGRAFIA

Abbreviazioni bibliografiche

3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage= REMONDINO F., CAMPANA S. (a cura di) 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, Oxford (UK).

Aquae Patavinae 2011 = Aquae Patavinae. *Il termalismo antico nel comprensorio euganeo e in Italia,*Atti del I Convegno nazionale, (Antenor Quaderni, 21), Padova, 21-22 giugno 2010,a cura di M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini, Padova, 2011.

AquaePatavinae 2012 = Aquae Patavinae. *Montegrotto Terme e il termalismo in Italia. Aggiornamenti e nuove prospettive di valorizzazione*, Atti del II Convegno nazionale, (Antenor Quaderni, 26), Padova, 14-15 giugno 2011, a curadi M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini, Padova, 2012.

Aquae Salutiferae 2013 = Aquae Salutiferae. *Il termalismo fra antico e contemporaneo*, Atti del Convegno internazionale, (Antenor Quaderni, 29), Montegrotto Terme, 6-8 settembre 2012, a cura di M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini, Padova, 2013.

*Cura, preghiera e benessere*2014= *Cura, preghiera e benessere. Le stazioni curative termominerali nell'Italia romana,* a cura di M. Annibaletto, M. Bassani, F. Ghedini,Antenor quaderni, 31, Padova.

I Colli Euganei = SELMIN F. (a cura di) 2005, *I Colli Euganei*, Sommacampagna (VR).

CAA = Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology
CG&A = Computer Graphics and Applications
ICCU = Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle biblioteche italiane e per le informazioni bibliografiche
IJHDE = International Journal of Heritage in the Digital Era
ISPRS = International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
ISPRS Annals = ISPRS of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences
ISPRS Archive = International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science

ACHILLI V., AGUGIARO G., BRAGAGNOLO D., SALEMI G., STEVANATO G. 2008,*Modello digitale 3D dell'area archeologica di Montegrotto mediante integrazione di dati GPS e laser scanner in ambiente GRASS GIS*, in Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia 1(2008), pp. 83-99.

AGISOFT LLC. 2014, *Agisoft Photoscan User Manual*, Professional Edition version 1.0, Russia, pp. 1-66.

AGUGIARO G. 2009, Tesi di dottorato di ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici, indirizzo in Scienze e Tecnologie per i Beni Archeologici e Architettonici, *Advanced methologies for acquisition, integration analysis, management, visualisation and distribution of data in the framework of archaeological and architectonical heritage*, ciclo XXI, 2009, supervisori V. Achilli, T. H. Kolbe.

AGUGIARO G. 2014, *2D & 3D GIS and web-based visualization*, in *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*, pp. 101-110.

ALISI T. M., DEL BIMBO A., VALLI A. 2005, *Natural Interfaces to enhance visitor's experience*, in Multimedia at Work, 12 (3), pp. 80-85.

ALSHAWABKEH Y., HAALA N. 2004, *Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentation*, in ISPRS Archives, 35, pp. 537-546.

ANDERSON E. F., MCLOUGHLIN L., LIAROKAPIS F., PETERS C., PETRIDIS P., DE FREITAS S. 2010, *Developing serious games for Cultural Heritage: a state of art review*, in Virtual Reality, 14, pp. 255-275.

ANTI C. 1930, *Il regio museo archeologico nel palazzo reale di Venezia*, Roma.

ANTINUCCI F. 2014, *Comunicare nel museo*, Roma.

AZUMA R., BAILLOT Y., BEHRINGER R., FEINER S., JULIER S., MACINTYRE B. 2001, *Recent advances in Augmented Reality*, in IEEE CG&A, 21(6), pp. 34-47.

BALLETTI C. 2006, *Georeference in the analysis of the geometric content of early maps*, in e-Perimetron, 1 (1), pp. 32-42.

BASSO P., BRESSAN M., GHEDINI F., ZANOVELLO P. 2014, *LeAquae patavinae. Popolamento e paesaggio nella prima età imperiale*, in Antichità Altoadriatiche, 76, pp. 65-84.

BASSO P., CERATO I., MAZZOCHIN S. 2012, *I primi risultati delle ricognizioni archeologiche a Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 217-236.

BASTONERO P., DONADIO E., CHIABRANDO F., SPANÒ A. 2014, *Fusion of 3D models derived from TLS and image-based techniques for CH enhanced documentation*, in ISPRS Annals, II-5, 2014, ISPRS Technical Commission V Symposium, 23-25 June 2014, Riva del Garda, pp. 73-80.

BERALDIN J.-A. 2004,*Integration of Laser Scanning and Close-Range Photogrammetry – The Last Decade and Beyond*, in Proceedings of the XX ISPRS Congress, 35, pp. 972-983.

BERNARDINI F., RUSHMEIER H. 2002, *The 3D model acquisition pipeline*, in Computer Graphics forum, Blackwell, 21 (2), pp. 149-172.

BERTOZZI S., BARATIN L., MORETTI E. 2015, *Superfici pittoriche e supporti: GIS analysis, caratterizzazione e monitoraggio*, in Atti Conferenza ESRI 2015, pp. 1-8.

BOARO S. 2012, *Preistoria e Protostoria: per un aggiornamento sul comprensorio termale euganeo*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 75-88.

BOEHLER W., MARBS A. 2004, *3D Scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison*, in Proceedings of 12th International Conference on Geoinformatics, pp. 291-298.

BONOMI S. (a cura di) 1997, *Delle Antiche Terme di Montegrotto: sintesi archeologica di un territorio*, Battaglia Terme, 1997.

BONOMI S., MALACRINO C. G. 2012, *Il complesso termale di viale Stazione / via degli Scavi a Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 155-172.

BORTOLAMI S. 2007, *Le terme euganee nel Medioevo. Dettagli di un paesaggio fisico e sociale*, in *Bains curatifs et bains hygiéniques en Italie de l'antiquité au Moyen Âge*, a cura di M. Guérin-Beauvois e J.-M. Martin, Roma, pp. 153-175.

BOSIO L. 1992, *L'agro atestino in età preromana e romana*, in *Este antica. Dalla preistoria all'età romana*, a cura di G. Tosi, Este, pp. 173-204.

BOUTOURA C., LIVIERATOS E. 2006, *Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods*, in e-Perimetron, 1 (1), pp. 60-70.

BOZIAE., BARMPOUTIS A., WAGMAN R. S. 2014,*Open-access epigraphy. Electronic dissemination of 3D-digitized archaeological material*, in Proceedings of the International Conference in Information Technologies for Epigraphy and Digital Cultural Heritage in the Ancient World (EAGLE 2014), Paris, France, September 29-30 and October 1, 2014, pp. 1-12.

BRESSANM., BONINIP.2012*IlpopolamentodelleAquae Patavinaein età romana. Studi per la carta archeologica del comprensorio termale euganeo*, in *Aquae Patavinae*2012, pp. 89-120.

BRESSAN M., BRENER E., DEOTTO G., DESTRO C., MARCATO M. 2012, *Prove tecniche di valorizzazione: ipotesi ricostruttiva della villa romana di via Neroniana a Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 269-295.

BRESSAN M., DESTRO C., ONNIS C. 2013, *Montegrotto Terme (PD). La villa romana di via Neroniana. Metodologie tradizionali e innovative per un'ipotesi ricostruttiva del pavimento del vano 13*, in Atti del XVIII Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM), (Cremona, 14-17 marzo 2012), a cura di C. Angelelli, Tivoli, pp. 177-188.

BRESSAN M., MARCATO M., ONNIS C., DESTRO C., PRIVITERA T., DIDONÉ A., MAZZOCHIN S., BRENER E. 2013, *La villa romana di via Neroniana a Montegrotto Terme. Ipotesi ricostruttiva degli interni*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 361-392.

BROGIOLO G. P., DE GUIO A., FASSON E., BETTO A., NEBBIA M. 2012, *Cartografia storica e remote sensing (LIDAR) nello studio dei paesaggi di Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 15-53.

BUONOPANE A. 1992, *La duplice iscrizione confinaria di Monte Venda (Padova)*, in Rupes Loquentes, Atti del Convegno internazionale di studio sulle iscrizioni rupestri di età romana in Italia (Roma-Bomarzo 13-15 ottobre 1989), a cura di L. Gasperini, Roma, pp. 207-223.

CARROZZINO M., BERGAMASCO M. 2010, *Beyond virtual museum: experiencing immersive virtual reality in real museums*, in Journal of Cultural Heritage, 11, pp. 452-458.

CASSIOD. *Var*. 2 = FLAVIO MAGNO AURELIO CASSIODORO V-VI sec. d.C., *Varie*, II, 39.
CENTOFANTI M., CONTINENZA R., BRUSAPORCI S., TRIZIO I. 2011, *The architectural information system SIArch3D-Univaq for analysis and preservation of architectural heritage*, in ISPRS Archives, XXXVIII-5/W16, pp. 9-14.

CERATO I., LUCCI BALDASSARI G., MICHIELIN L., PESCARIN S. 2012, *Laser scanner e "computer vision" a Montegrotto Terme. Il caso della ricostruzione del teatro di viale Stazione / via degli Scavi*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 327-339.

CERATO I., MAZZOCCHIN S., FASSON E. 2013, *Il paesaggio storico tra cartografia e ricognizione archeologica. Alcuni dati dei lavori condotti nel territorio di Montegrotto Terme*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 393-407.

CONOLLY J., LAKE M. 2006, *Geographical Information System in Archaeology*, Cambridge, UK.

CORNS A. 2014, 3D *Icons. Guidelines and case studies*, Dublin (Ireland).

CREED C., SEAR J., BEALE R. 2013, *Using mid-air gestures to enhance collaborative experiences for disabled user on multi-touch tables*, in Proceedings of Workshop on Collaboration Meets Interactive Surface: walls, tables, tablets and phones, St. Andrews, UK, pp. 1-6.

CRESCI MARRONE G. 2004, *Storia e storie ai margini della strada*, in La via Annia e le sue infrastrutture, Atti delle giornate di studio, Ca' Tron di Roncade, Treviso 6-7 novembre 2003, a cura di M.S. Busana e F. Ghedini, Cornuda (Treviso), pp. 29-39.

EL- HAKIM S. F., BERALDIN J.-A., PICARD M. 2002, *Detailed 3D reconstruction of monuments using multiple techniques*, in ISPRS-CIPA Workshop, Corfù, Greece, September 1-2, pp. 13-18.

EVGENIKOU V., GEORGOPOULOS A. 2015, *Investigating 3D reconstruction methods for small artifacts*, in ISPRS Archives, XL-5/W4, 2015,3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February 2015, Avila, Spain, pp. 101-108.

FABBRI P. 2011, *Il bacino termale euganeo*, in *Aquae Patavinae* 2011, pp. 169-179.

FABBRI P., POLA M., ZAMPIERI D. 2013, *Il termalismo da un punto di vista geologico*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 11-17.

FANINI B., CALORI L., LUCCI BALDASSARI G., PESCARIN S. 2011, *Archeologia virtuale online*, in Atti della Conferenza GARR_11, selected papers: Da 20 anni nel futuro: dalle prime reti informatiche alle grandi infrastrutture digitali, Bologna 8-10 novembre 2011, a cura del Consortium GARR, Roma, pp. 64-70.

FANINI B., DEMETRESCU E., FERDANI D., PESCARIN S. 2013, *Aquae patavinae VR, dall'acquisizione 3D al progetto di realtà virtuale: una proposta per il Museo del Termalismo,* in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 431-449.

FARESIN E., BASCHIERA A., SALEMI G., ASOLATI M., CRISAFULLI C. 2012, *Micrometer MultiResolution Laser Scanning of a Renaissance Medallion*, in Progress in Cultural Heritage Preservation, Proceedings of EuroMed 2012 Conference, Lecture Notes in Computer Science, pp. 525-532.

FASSI F., FREGONESE L., ACKERMANN S., DE TROIA V. 2013*, Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas*, in ISPRS Archive, XL-5W1, pp. 73-80.

FASSON E. 2014, Tesi di dottorato di ricerca in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici, indirizzo Scienze Archeologiche, *Il contributo della cartografia di epoca veneziana e di XIX secolo alla ricostruzione del paesaggio antico di Montegrotto Terme e del bacino termale euganeo*, ciclo XVI, 2014 supervisori P. Zanovello, E. F. Ghedini.

FINZI E., PRATICELLI N., VETTORE L., ZAJA A. 2007, *Multi-temporal Geophysical Survey of a Roman Bath Complex in Montegrotto Terme (Padova, Northern Italy)*, in ArchaeologicalProspection, 14, pp. 182-190.

FORTE M. 2014, *Virtual reality, cyberarchaeology, teleimmersive archaeology*, in *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*, pp. 113-127.

FORTE M., DANELON N. 2015, *Regium@Lepidi project*, in Archeomatica, 1, pp. 42-48.

FORTE M., PESCARIN S., PIETRONI E., RUFA C., BACILIERI D., BORRA D. 2003, *The multimedia room of the Scrovegni Chapel: a virtual heritage project*, in Enter the Past. The E-way into the four dimensions of Cultural Heritage. Vienna April 2003, pp. 529-532.

GAMBERINI L. 2012, *L'esperienza dell'utente*, in *Human Computer Interaction: i fondamenti dell'interazione tra persone e tecnologie*, a cura di L. Gamberini, L. Chitarro, F. Patternò, Milano, pp. 205-244.

GHEDINA P. (a cura di) 1997, *Catalogo Pinacoteca Civica al Montirone: Museo Civico, Collezione Roberto Bassi Rathgeb*, Abano Terme.

GHEDINI F. 2011, *Un progetto per Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2011, pp. 9-26.

GHEDINI F., BASSANI M. 2014, *Risultati e Prospettive*, in *Cura preghiera e benessere* 2014, pp. 265-282.

GHEDINI F., ZANOVELLO P. 2013, *Il termalismo in età romana tra conoscenza e valorizzazione (PRIN 2008)*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 65-76.

GHEDINI F., ZANOVELLO P., BASSANI M., BRENER E., DESTRO C., PRIVITERA T., BRESSAN M. 2015, *La villa di via Neroniana a Montegrotto Terme(Padova) fra conoscenza e valorizzazione*, in Amoenitas, IV, Roma, pp. 11- 40.

GHEDINI F., ZANOVELLO P., DESTRO C., BRESSAN M. 2013*Il progetto* AquaePatavinae *a Montegrotto Terme (Padova). Dallo scavo alla valorizzazione di un territorio*, in Atti del convegnoScienza e Beni Culturali, Conservazione e valorizzazione dei siti archeologici, Bressanone, 9-12 luglio 2013, a cura di G. Biscontin, G. Driussi, Venezia, 2013, pp. 115-129.

GLORIA A. 1862, *Il territorio padovano illustrato*, II, p. 33.

GODIN G., BERALDIN J.-A., RIOUXM., LEVOY M., COURNOYERL., BLAIS F. 2001, *An assessment of laser range measurement of marble surfaces*, in Proceedings of 5th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, October 1-4 2001, Vienna (Austria), pp. 49-56.

GONIZZI BARSANTI S., CARUSO G., MICOLI L. L., COVARRUBIAS RODRIGUEZ M., GUIDI G. 2015, 3D *Visualization of Cultural Heritage artefacts with virtual reality devices*, in ISPRS Archives, XL-

5/W7, 2015, 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015, Taipei, Taiwan, pp. 165-172.

GRANDIS C. 1997, *Montegrotto: una storia per immagini, mappe topografiche e fotografie del territorio*, Montegrotto Terme (Pd).

GRANDIS C. 2003*, La via fluviale nella riviera euganea*, in Per terre e per acque: vie di comunicazione nel Veneto dal Medioevo alla prima età moderna, Atti del convegno presso il Castello di Monselice, 16 dicembre 2001, a cura di D. Gallo e F. Rossetto, pp. 267-298.

GRANIER X., VERGNE R., PACANOWSKI R., BARLA P., REUTER P.2012,*Enhancing surface features with the radiance scaling Meshlab plugin*, inCAA 2012, (2) Amsterdam University Press, pp. 417-421.

GRANSHAW S. I., FRASER C. S. 2015, *Computer Vision and Photogrammetry: interaction or introspection?*, in The Photogrammetric Record, 30 (149), pp. 3-7.

GRASSET R., DÜNSER A., BILLINGHURST M. 2008, *Edutainment with a mixed reality book: a visually augmented illustrative childrens' book*, Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, NY, USA, 2008, pp. 292-295.

GREGGIO S., FARESIN E., ZANOVELLO P., SALEMI G. 2015, *Analisi e gestione della cartografia storica per la ricostruzione virtuale dell'area termale euganea (PD): il caso di Monteortone*, in Atti della XIX Conferenza Nazionale ASITA, Polo di Lecco del Politecnico di Milano, 29 settembre – 1 ottobre 2015, pp. 429-436.

GREGGIO S., LETI MESSINA T., SALONIA P. 2013, *Rilievi e ricostruzioni tridimensionali per l'indagine archeologica: i pavimenti musivi della villa di via Neroniana a Montegrotto Terme*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 415-430.

GREGGIO S., SALEMI G. c.s. *A mobile Augmented Reality system integrating 3D model and radiance scaling to enhance epigraphical inscription*, Proceedings of the XX International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT20), November 2-4 2015, Vienna, Stadt Archäologie Wien.

GROSSI P., PIROTTI F. 2009, *GFOSS ed archeologia: l'esempio del Web GIS territoriale e di scavo di Montegrotto Terme (Padova)*, in Atti del IX Meetingdegli Utenti Italiani di GRASS – GFOSS, DICA - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (Università di Perugia, 20-22 febbraio 2008), Perugia, pp.113-122.

GROSSI P., PIROTTI F. 2012, *Il WebGIS territoriale e di scavo di Montegrotto Terme (Padova)*, in Atti del III Workshop Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica (Padova 8-9 maggio 2008), a cura di L. Bezzi, D. Francisci, P. Grossi, D. Lotto, pp. 171-182.

GUIDAZZOLI A., BAGLIVO A., DE LUCA D., IMBODEN S., LIGUORI M. C., RIVALTA A. 2014, *Crossmedia integration of 3D contents for cultural communication*, in 3DTV Conference: the true vision, capture, transmission and display of 3D video, 2-4 July 2014, pp. 1-4.

GUIDAZZOLI A., LIGUORI M. C., DE LUCA D., IMBODEN S. 2014, *Valorizzazione cross-mediale di collezioni museali archeologiche italiane*, in Virtual Archaeology Review, 5 (10), pp. 93-106.

GUIDI G., BERALDIN J.-A., CIOFI S., ATZENI C. 2003, *Fusion of range camera and photogrammetry: a systematic procedure for improving 3-D models metric accuracy*, in IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 33 (4), pp. 667-676.

GUIDI G., NAVARRO P. R., GONIZZI BARSANTI S., MICOLI L. L., RUSSO M. 2013, *Quick textured mesh generation in Cultural Heritage digitization*, in Build Heritage Monitoring Conservation Management, Milan (Italy) 18-20 November 2013, pp. 874-882.

GUIDI G., REMONDINO F. 2012, *3D modeling from real data*, in *Modeling and Simulation in Engineering*, a cura di A. Alexandru, pp. 69-102.

GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M., MENNA F., RIZZI A., ERCOLI S. 2009,*A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archeological areas*, inInternational Journal of Architectural Computing, 7(1), pp.39-55.

GUIDI G., RUSSO M., BERALDIN J.-A. 2010, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, Milano.

HAMEEUW H., WILLEMS G. 2011, *New visualization techniques for cuneiform texts and sealings*, in Akkadica, 132/2, pp. 163-178.

HAPPA J., MUDGE M., DEBATTISTA K., ARTUSI A., GONÇALVES A., CHALMERS A. 2010, *Illuminating the past: state of the art*, in Virtual Reality, 14, pp. 155-182.

HARTLEY R., MUNDY J.L. 1993, *Relationship between photogrammetry and computer vision*, in Optical Engineering and Photonics in Aerospace Sensing. International Society for Optics and Photonics, 1993, pp. 92-105.

HONG L. 1999, *Sense your world better: multisensor/information fusion*, in IEEE Circuits and Systems Newsletter, 10 (3), pp. 7-28.

HSU H.-M. J. 2011, *The potential of Kinect in education*, in International Journal of Information an Education Technologies, 1 (5), pp. 365-370.

ICCROM 2005, *Definition of Cultural Heritage. References to documents in history*, pp. 1-47.

ICCU 2006a, *Linee guida per la digitalizzazione del materiale cartografico*, Roma, pp. 1-51.

ICCU 2006b, *MAG Metadati Amministrativi e Gestionali. Manuale utente*, Roma, pp. 1-17.

IOANNIDIS C., TSAKIRI M. 2003, *Laser scanning and photogrammetry for the documentation of a large statue-experiences in the combined use*, in Altan, pp. 517-522.

JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-PALACIOS B., NEX F., RIZZI A., REMONDINO F. 2014, *ARCube – The augmented reality cube for archaeology*, in Archaeometry, 57 (S1), pp. 250-262.

KEIL J., PUJOL L., ROUSSOU M., ENGELKE T., SCHMITT M., BOCKHOLT U., ELEFTHERATOU S. 2013, *A digital look at physical museum exhibits.Design personalized stories with handheld Augmented Reality in museums,* in Proceedings of Digital Heritage International Congress, Marseille(France), 2, pp. 685-688.

KERSTEN T., MECHELKE K., MAZIULL L. 2015, *3D model of Al Zubarah fortress in Qatar – terrestrial laser scanning vs. Dense image matching*, in ISPRS Archives, XL-5/W4, 2015, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February 2015, Avila, Spain, pp. 1-8.

KIRRIEMUIR J., MCFARLANE A. 2007, *Literature review in games and learning*, in Future research report, 8, pp. 1-34.

KITA S. 2009, *Cross-cultural variation of speech-accompanying gesture: a review*, in Language and cognitive processes, 24:2, pp. 145-167.

KOCH A. 2005, *An integrated semantically correct 2,5 dimensional object oriented TIN*, in Proceedings of the 1st International ISPRS/EuroSDR/DGPF – Workshop on Next Generation 3D city Models, Bonn (Germany), EurosSDR Publication 49, pp. 95-100.

KOUTSOUDIS A., VIDMAR B., IOANNAKIS G., ARNAOUTOGLOU F., PAVLIDIS G., CHAMZAS C. 2014, *Multi-image 3D reconstruction data evaluation*, in Journal of Cultural Heritage, 15, pp. 73-79.

LAZZARO L. 1981, *Fons Aponi. Abano e Montegrotto nell'antichità*, Abano Terme.

LECLET-GROUX D., CARON G., MOUADDIB E., ANGHOUR A. 2013, *A serious games for 3D cultural Heritage*, in Proceedings of Digital Heritage International Congress 2013, Marseille (France), 1, pp. 409-412.

LO BRUTTO M., MELI P. 2012, *Computer Vision tools for 3D modelling in archaeology*, in IJHDE, 1 (1), pp. 1-6.

LOPEZ-MENCHERO V. M., GRANDE A. 2011, *The Principles of the Seville Charter*, in Proceedings of XXIII CIPA Symposium, pp. 1-5.

LUHMANN T., ROBSON S., KYLE S., HARLEY I. 2006, *Close Range Photogrammetry. Principles, Methods and Applications*, Caithness (Scotland, UK).

MANDRUZZATO S. 1789-1804, *Dei Bagni di Abano*, I-III, Padova.

MANFERDINI A. M., REMONDINO F. 2010, *Reality-based, 3D modeling, segmentation and web visualization*, in Digital Heritage, Proceedings of EuroMed 2010 Conference, Lecture Notes in Computer Science, pp. 110-124.

MANFERDINI A. M., REMONDINO F. 2012, *A review of reality-based 3D model generation, segmentation and web-based visualization methods*, in IJHDE, 1, pp. 103-123.

MANFERDINI A. M., REMONDINO F., BALDISSINI S., GAIANI M., BENEDETTI B. 2008, *3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization in 3D archaeological databases*, in Proceedings of 14th International Conference on Virtual System and Multimedia, Limassol, Cyprus, pp. 221-228.

MANSUELLI G. A.1958, *Studi sull'arte romana dell'Italia settentrionale*, in Rivista dell'Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte, VII, pp. 45-128.

MARINETTI A. 2013, *Il venetico: la lingua, le iscrizioni, i contenuti,* in *Venetkens: viaggio nella terra dei veneti antichi*, Catalogo della mostra, Padova, Palazzo della Ragione, 6 aprile – 17 novembre 2013, a cura di M. Gamba, G. Gambacurta, A. R. Serafini, V. Tiné, F. Veronese, pp. 79-91.

MAZZI G. 1997, *Un giardino per le terme: il progetto di Giuseppe Jappelli per S. Elena di Battaglia*, in *Il Giardino dei sentimenti: Giuseppe Jappelli architetto del paesaggio*, a cura di G. Baldan Zenoni-Politeo, Milano, pp. 150-167.

MCHENRY K., BAJCSY P. 2008, *An overview of 3D data content, file formats and viewers*, in Technical Report: Isda 08-002, pp. 1-21.

MICROSOFT 2014, *Human Interface Guidelines, v. 2.0, Kinect for Windows*.

MIGLIOLARO G. 1956, *Montegrotto Terme: notizie storiche*, Padova.

MILGRAM P., TAKEMURA H., UTSUMI A., KISHINO F. 1994, *Augmented Reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum*, in Telemanipulator and Telepresence Technologies, 2351, pp. 282-292.

MIOLA A., MOZZI P., NICOSIA C., PIOVAN S., MARITAN M., GAUDIOSO B. 2011, *L'area archeologicadi via Neroniana. Inquadramento paleoambientale*, in *Aquae Patavinae* 2011, pp. 65-88.

MIOTTO F., ZECCHIN F. 2012, *Relazione storico-artistica. Progetto di restauro conservativo e recupero funzionale del complesso architettonico nell'ex convento di Monteortone*, pp. 1-67.

MIYASHITA T., MEIER P., TACHIKAWA T., ORLIC S., ELBE T., SCHOLZ V., GAPEL A., GERL O., ARNAUDOV S., LIEBERKNECHT S. 2008, *An Augmented Reality Museum Guide*, in IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 15-18 September, Cambridge, UK, pp. 103-106.

MORENO R., MAYER R. 2007, *Interactive multimodal learning environments*, in Educational Psicology Review, 19(3), pp. 309-326.

MORTARA M., CATALANO C. E., BELLOTTI F., FIUCCI G., HOUNRY-PANCHETTI M., PETRIDIS P. 2014, *Learning Cultural Heritage by serious games*, in Journal of Cultural Heritage, 15, pp. 318-325.

MOZZI P. 2005, *Isole nella pianura*, in *I Colli Euganei*, pp. 28-55.

NAVARRO A., PRADILLA J. V., MADRIÑÁN P.,LONDOÑO S. 2011, *Serious games: between training and entertainment*, in The third International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, pp. 72-75.

NAVARRO A., PRADILLA J. V., RIOS O. 2012, *Open source 3D game engines for serious games modeling*, in *Modeling and Simulation in Engineering*, a cura di C.Alexandru, pp. 143-158.

NEUBAUER W. 2004, *GIS in Archaeology – the interface between prospection and excavation*, in Archaeological Prospection, 11, pp. 159-166.

NEUBAUER W., DONEUS M. 2008,*Digital recording of stratigraphic archaeological excavations using terrestrial 3D laser scanners*, in ViaVIAS 02, pp. 45-52.

PAPAGIANNAKIS G., SCHERTENLEIB S., O'KENNEDY B., AREVALO-POIZAT M., MAGNENAT-THALMANN N., STODDART A., THALMANN D. 2005, *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, in Computer Animation and Virtual World, 16, pp. 11-24.

PATIAS P. 2007, *Cultural heritage documentation*, in *Application of 3D measurement from images*, a cura di J.Fryer, H.Mitchell, J.Chandler, Scotland (UK), pp. 225-257.

PESCARIN S. 2009, *Reconstructing ancient landscape*, Budapest.

PESCARIN S. 2014a, *Virtual reality and cyberachaeology – virtual museum*, in *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*, pp. 129-133.

PESCARIN S. (a cura di) 2014b, *Catalogo – Keys to Rome. Roman culture, virtual museum*, Roma.

PESCARIN S., FANINI B., FERDANI D., LUCCI BALDASSARI G. 2012, *Archeologia virtuale a Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 309-326.

PESCARIN S., FANINI B., FERDANI D., LUCCI BALDASSARI G., CALORI L. 2011, *Archeologia virtuale, realismo, interattività e performance: dalla ricostruzione alla fruizione on line Realism, Interactivity and Performance: a pipeline for large scale Virtual Heritage dataset on line*, in DisegnareCon, 4, pp. 62-70.

PESCARIN S., PIETRONI E., RESCIC L., OMAR K., WALLERGÅRD M., RUFA C. 2013, *NICH: a preliminary theoretical study on Natural Interaction applied to Cultural Heritage contexts*, in Proceedings of Digital Heritage International Congress, Marseille(France), 1, pp. 355-362.

PIETRONI E., ADAMI A. 2014*, Interacting with virtual reconstruction in museums: the etruscanning project*, in Journal on Computing and Cultural Heritage, 7, pp. 9:1 – 9:29.

PIETRONI E., BORGHINI S., CARLANI R., RUFA C. 2011, *Matera città narrata project: an integrated guide for mobile system*, in XVIII ISPRS Workshop 3D-ARCH 2011, 2-4 March, Trento, pp. 561-567.

PIRES H., MARQUES P., HENRIQUES F., OLIVEIRA R. 2007, *Integrating laser scanning, multispectral imagery and GIS in C&R documentation practices: a first approach using two XVIth century wood paintings from convent de Cristo in Tomar*, in Proceedings of XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, pp. 1-6.

PIVA R. 1985, *Le confortevolissime terme: interventi pubblici e privati a Battaglia e nelle terme padovane tra Sette e Ottocento, lo sfruttamento delle acque termali in medicina oggi*, Battaglia Terme.

PIVA R. 1989, *Le terme*, in *Battaglia Terme. Originalità e passato di un paese del padovano*, a cura di ZanettiP.G., Battaglia Terme, pp. 127-142.

PLIN. *nat.* 2 =PLINIO IL VECCHIOI sec. d.C., *Storia Naturale*, II, 227.

PLIN. *nat*. 31 = PLINIO IL VECCHIOI sec. d.C., *Storia Naturale*, XXXI, 61.

POLA M., FABBRI P., ZAMPIERI D., PICCINI L. 2014, *Il fenomeno termale: alcuni esempi in Italia*, in *Cura preghiera e benessere* 2014, pp. 19-28.

PRIMON S., NINFO A.,MOZZI P.2012*Indagine geoarcheologica del territorio di Montegrotto Terme attraverso il telerilevamento*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 55-74.

RAMOS M. M., REMONDINO F. 2015, *Data fusion in cultural heritage*, in ISPRS Archives, XL-5/W7, 2015, 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015, Taipei, Taiwan, pp. 359-363.

REMONDINO F. 2003, *From point cloud to surface: the modeling and visualization problem*, in ISPRS Archives, XXXIV, pp. 1-11.

REMONDINO F. 2011, *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*, in Remote Sensing, 3, pp. 1104-1138.

REMONDINO F. 2014, *Photogrammetry – basic theory*, in *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage,* pp. 63-72.

REMONDINO F., CAMPANA S. (a cura di) 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, Oxford (UK).

REMONDINO F., DEL PIZZO S., KERSTEN T., TROISI S. 2012, *Low-cost and open source solutions for automated image orientation. A critical overview*, in Progress in Cultural Heritage Preservation, Proceedings of EuroMed 2012, pp. 40-54.

REMONDINO F., EL-HAKIM S. F. 2006, *Image-based 3D modeling: a review*, in The Photogrammetric Record Journal, 21 (115), pp. 269-291.

REMONDINO F., GUARNIERI A., VETTORE A. 2004, *3D modeling of close-range object: photogrammetry or laser scanning?,* in Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering, pp. 216-225.

REMONDINO F., POLI D. 2014, *Back to the future. Il ritorno della fotogrammetria*, in Geomedia, 2, pp. 6-8.

REMONDINO F., RIZZI A., BARAZZETTI L., SCAIONI M., FASSI F., BRUMANA R., PELAGOTTI A. 2011, *Review of geometric and radiometric analyses of paintings*, in The Photogrammetric Record, 26 (136), pp. 439-461.

REMONDINO F., SPERA M. G., NOCERINO E., MENNA F., NEX F. 2014, *State of the art in high density image matching*, in The Photogrammetric Record, 29 (146), pp. 144-166.

RICHARDS-RISSETTO H., ROBERTSSON J., VON SCHWERIN J., AGUGIARO G., REMONDINO F., GIRARDI G. 2012, *Geospatial Virtual Heritage: a gesture-based 3D GIS to engage the public with ancient Maya archaeology*, in Proceedings of CAA, Southampton, 26-29 marzo 2012, pp. 118-130.

RIDEL B., REUTER P., LAVIOLE J., MELLADO N., COUTURE N., GRANIER X. 2014, *The revealing flashlight: interactive spatial augmented reality for detail exploration of cultural heritage artifacts*, in Journal on Computing and Cultural Heritage, Association for Computing Machinery, 7 (2), pp. 1-

18.

RIGHETTI M. 1993, *Il santuario di Santa Maria di Monteortone*, Padova.

RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in Archeologia e Calcolatori, 22, pp. 169-198.

SALONIA P. 2012, *Tecniche innovative di rilievo e modellazione 3D per l'archeologia: ZScan e UAV per l'area archeologica di viale Stazione / via degli Scavi a Montegrotto Terme*, in *Aquae Patavinae* 2012, pp. 341-355.

SETTIA A. A. 2005, *Castelli Euganei*, in *I Colli Euganei*, pp. 117-140.

STELLA A. 1923, *Formazione, consistenza e conduzione del patrimonio fondiario: dal 1448 al 1806*, pp. 44-62.

THIAN C. 2012, *Augmented reality – What really can we from it?,* in Proceedings of Conference Museum and the Web, April 11-14, 2012, S. Diego, USA (http://www.museumsandtheweb.com/mw2012/papers/augmented_reality_what_reality_can_we_learn_fr).

TRAVERSARI G. 1958, *Museo Archeologico di Venezia. I ritratti*, Roma.

TURETTA L. 2012, *Cartografia storica e GIS nello studio del paesaggio storico: il caso di Abano Terme (Padova-Italia),* in Debates de Arqueología Medieval, 2, pp. 277-291.

VALLISNERI A. 1733, *Opere fisico Mediche*, II, Venezia.

VASSILIOS V., IOANNIDIS N., KARIGIANNIS J., TSOTROS M., GOUNARIS M., STRICKER D., GLEUE T., DAEHNE P., ALMEIDA L. 2002, *Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites*, in IEEE CG&A, 22 (5), pp. 52-60.

VERDI A. 1997, Il complesso termale jappelliano del Montirone ad Abano, in *Il Giardino dei sentimenti: Giuseppe Jappelli architetto del paesaggio*, a cura di G. Baldan Zenoni-Politeo, Milano, pp. 167-178.

VERGNE R., PACANOWSKI R., BARLA P., GRANIER X., SCHLICK C. 2010, *Radiance scaling for versatile surface enhancement*, in Proceedings of Symposium on Iteractive 3D Graphics and Games, Feb 2010, Boston (USA), pp. 1-8.

VERHOEVEN G. 2011, *Taking Computer Vision Aloft – Archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with PhotoScan*, in Archaeological Prospection, 18, pp. 67-73.

VETTORE L. 2004, *Le prospezioni georadar*, in Montegrotto Terme – via Neroniana. Gli scavi 1989-1992, Antenor, Scavi 1, a cura di P. Zanovello, P. Basso, Padova, pp. 29-34.

VETTORE L. 2008, Tesi di dottorato di ricerca in Scienze della Terra, *Prospezioni geofisiche ad alta risoluzione: applicazioni archeologiche ed esportabilità in contesti ambientali*, ciclo XIX, 2008, supervisori E. Finzi, A. Zaja.

WATSON G.A. 2006, *Computing Helmert transformation*, in Journal of Computational and Applied Mathematics, 197 (2), pp. 387-394.

WOJCIECHOWSKI R., WALCZAK K., WHITE M., CELLARY W. 2004, *Building virtual and augmented reality museum exhibition*, in Proceedings of the 9th International Conference on 3D Web Technology, pp. 135-145.

YUEN S., YAOYUNEYONG G., JOHNSON E. 2011, *Augmented reality: an overview and five direction for AR in education*, in Journal of Educational Technology Development and Exchange, 4(1), pp. 119-140.

ZANCHIN G. 2013, *Le terme euganee. Cenni storici*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 19-28.

ZANETTI G. 1766, *Di una statua disoterrata appresso gli antichissimi bagni d'Abano, e d'altre antichità ivi scoperte nel presente anno MDCCLXVI. Discorso di G. Z. V.,* Venezia.

ZANOVELLO P. 2004, *L'area termale euganea in età romana*, in Montegrotto Terme – via Neroniana. Gli scavi 1989-1992, Antenor, Scavi 1, a cura di P. Zanovello, P. Basso, Padova, pp. 15-23.

ZANOVELLO P. 2005, *Le prime tappe della storia: tra Euganei, Veneti e Romani*, in *I Colli Euganei*, pp. 87-116.

ZANOVELLO P. 2013a, *Per una definizione di Termalismo*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 43-48.

ZANOVELLO P.2013b, *Riflessioni a margine del progetto per un Museo del Termalismo a Montegrotto Terme*, in *Aquae Salutiferae* 2013, pp. 409-414.

ZANOVELLO P., BASSO P. 2002, *Montegrotto Terme: relazione preliminare sul progetto di ricerche archeologiche nell'area ex Piacentini in via Neroniana*, in Quaderni di Archeologia del Veneto, XVIII, 2002, pp. 31-35.

ZANOVELLO P., BASSO P. (a cura di) 2004, *Montegrotto Terme, via Neroniana. Indagine archeologica 2003*, in Quaderni di Archeologia del Veneto, XX, 2004, pp. 15-24.

ZANOVELLO P., BASSO P. 2007, *Montegrotto Terme – via Neroniana. Indagine archeologica 2006*, in Quaderni di Archeologia del Veneto, XXIII, 2007, pp. 19-28.

ZANOVELLO P., BASSOP., BRESSANM.2010,*Il comprensorio termale euganeo in età romana: la villa di Montegrotto Terme*, in Amoenitas, I, Roma, pp. 45-79.

Siti web, ultimo accesso gennaio 2016	
http://www-01.ibm.com/software/data/db2	IBM DB2
http://www.123dapp.com/catch	123D Catch
http://194.119.209.212/monachello	O'Munaciedd, caccia al tesoro di Matera
http://www.3d-coform.eu	3D-COFORM
http://www.3dflow.net/it/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos	3DF Zephyr Pro
http://3dicons-project.eu/eng	3D-ICONS
http://www.3dsystems.com	3D System
http://www.4dixplorer.com/software_clorama.html	CLORAMA
https://www.adobe.com	Adobe Photoshop
http://www.agisoft.com	Agisoft PhotoScan
www.albumdiabano.it	Album di Abano
http://www.aquaepatavinae.it/portale	Progetto Aquae Patavinae
http://www.arc3d.be	ARC3D
https://www.arcgis.com	ArcGIS
http://autodesk.blogs.com/between_the_lines/2011/05/project-photofly-v2-released-for-download.html	Photofly2 Project
http://www.autodesk.it/products/3ds-max/overview	Autodesk 3D Studio Max
http://www.bbc.co.uk/schools/primaryhistory/romans	BBC, Primary School Roman period
http://www.bing.com/maps/Help/VE3DInstall/Default.aspx?action=install	Microsoft Bing Maps 3D
http://www.bing.com/mapspreview	Microsoft Bing Maps
https://www.blender.org	Blender
http://www.carare.eu	CARARE
http://ccwu.me/vsfm/	VisualSFM
http://www.chessexperience.eu	CHESS project
http://www.consorziobacchiglione.it	Consorzio di Bonifica Bacchiglione
http://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler	Bundler
http://cubify.com/it/products/isense	Cubify
http://www.cyark.org	CyArk project
https://developers.arcgis.com/en/arcgis-runtime/offline	ESRI ArcGIS for Developer
http://www.di.ens.fr/pmvs/	PMVS2
http://www.digitalepigraphy.org/museum/index.html	Digital Epigraphy
http://www.dpreview.com	DPREVIEW
http://dublincore.org	Dublin Core
https://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine	Wikipedia, game engine
http://www.e-onsoftware.com	e-on software
http://www.eora3d.com/index.html	Eora 3D
http://epoch-net.org/site	EPOCH
https://www.epson.it/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/12411	Epson Moverio BT-200
http://www.europeana.eu/portal/ http://exhibitions.europeana.eu	Europeana
http://fastionline.org	Fasti Online

http://www.flashearth.com	Flash Earth
http://www.getty.edu/gettygames	Getty Education
http://gisinfo.hertsdirect.org/GISdata/vectorraster.htm	GIS, data
http://www.google.com/glass/start	Google Glass
https://www.google.it/earth/download/gep/agree.html	Google Earth Pro
https://www.google.it/intl/it/earth	Google Earth
https://www.google.it/maps	Google Maps
http://grass.osgeo.org/screenshots/3D	Grass, voxel
http://www.hanselman.com/blog/LeapMotionAmazingRevolutionaryUseless.aspx	Leap Motion: Amazing, Revolutionary, Useless
http://www.hitl.washington.edu/artoolkit	ARToolKit
http://www.iccu.sbn.it/opencms/opencms/it/main/standard	ICCU
http://icom.museum/the-vision/museum-definition	ICOM
http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog	Open data Regione Veneto
http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/software/sure/index.en.html	SURE
http://insight3d.sourceforge.net	Insight3D
http://www.intel.it/content/www/it/it/architecture-and-technology/realsense-devices.html	Intel RealSense
https://itunes.apple.com/it/app/matera-citta-narrata-itinerari/id442680664?mt=8	Matera città narrata
https://itunes.apple.com/us/app/mayan-mysteries/id582762699?mt=8	Maya Mistery (iOS)
http://www.konicaminolta.it	Konica Minolta
https://www.leapmotion.com	Leap Motion
http://www.londoncharter.org	London Charter
http://www.map.archi.fr/nubes/NUBES_Information_System_at_Architectural_Scale/Home.html	NUBES (MAP, CNRS),
http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree	Open data Regione Veneto, IUAV
http://www.masonbruce.com/technology/mobilemap	MB&G Mobile Map
http://meshlab.sourceforge.net	Meshlab
https://my.metaio.com/dev https://my.metaio.com/dev/content-creation/3d-animation/model-export-from-blender/export-to-fbx/ https://my.metaio.com/dev/creator/index.html https://my.metaio.com/dev/creator/tutorials/face-tracking/index.html https://my.metaio.com/dev/sdk/documentation https://my.metaio.com/dev/junaio/index.htmlhttp://www.metaio.com/fileadmin/upload/documents/magazine/insidear_mag-009-2014.pdf	Metaio
http://www.micmac.ign.fr http://www.tapenade.gamsau.archi.fr/TAPEnADe/Tools.html	Apero/MicMac
https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows	Microsoft, Kinect
http://www.muboproject.it/go/ok-venice	Google Glass, OK-Venice
http://www.museomav.it	Museo Archeologico Virtuale di Ercolano
http://www.museumoflondon.org.uk/Resources/app/Streetmuseum-Londinium/home.html	Street Museum Londinium
http://www.mylearning.org/interactive.asp?journeyid=238&resourcei	My Cultural Quest

d=587	
http://www.nikon.it/it_IT/product/digital-cameras/slr/consumer/d3200	Nikon D3200
http://www.nikon.it/it_IT/product/discontinued/digital-cameras/2012/d5000	Nikon D5000
https://www.oculus.com/en-us	Oculus VR
http://www.ogre3d.org	OGRE3D
http://omnesviae.org/it	Omnes viae: Itinerarium romanum,
http://www.opengeospatial.org	Open Geospatial Consortium
http://www.opensg.org/htdocs/doc-1.8/index.html	OpenSG
https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100	Open Street Map
http://osgearth.org	osgEarth
http://www.palazzovalentini.it	Palazzo Valentini
https://www.photosynth.net	Photosynth (Microsoft)
https://play.google.com/store/apps/details?id=air.digimark.museumgame	Museum game, Android
https://play.google.com/store/apps/details?id=it.visitotuscany	VISITO Tuscany (Android)
http://www.playinghistory.eu/	Playing History
http://www.postgresql.org	PostgreSQL
http://www.qgis.org/it/site/	QGIS
https://www.rhino3d.com/it	Rhinoceros
https://sketchfab.com/britishmuseum	Sketchfab, British Museum
http://www.spatialanalysisonline.com	GIS, Spatial Analysis
http://studio.wikitude.com	Wikitude Studio
http://totem.fit.fraunhofer.de/tidycity	Tidy City
http://trac.osgeo.org/ossim	OssimPlanet
https://unity3d.com	Unity 3D
http://www.valorizzazione.beniculturali.it/it/?option=com_content&view=article&id=55&amp	MIBACT, Comunicare il patrimonio
http://www.valorizzazione.beniculturali.it/it/?option=com_content&view=article&id=65&amp	MIBACT, Valorizzare il patrimonio
http://vcg.isti.cnr.it/3dhop/index.php	3DHOP
http://www.venicetoexpo2015.org/progetto/acqua-immutabile-e-antica	Venice to Expo, Acqua immutabile e antica
https://vimeo.com/129867454	Progetto Virtual Museum of the Tiber Valley
http://www.virtualmuseumiraq.cnr.it/prehome.htm	Museo virtuale dell'Iraq
http://www.v-must.net	Progetto V-Must
http://www.wikitude.com/app	Wikitude App
http://worldwind.arc.nasa.gov/java	Nasa World Wind
http://www2.3ds.com/products-services/3dvia/3dvia-studio/welcome	3DVIA Studio Pro

Ringraziamenti

Le immagini della statua maschile in marmo bianco, conservata presso il Museo Archeologico Nazionale di Venezia, sono state pubblicate su concessione del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali del Turismo; riproduzione vietata (Polo Museale del Veneto).

Le immagini dell'iscrizione rupestre del Monte Venda e del cippo di Galzignano, conservati presso il Museo Nazionale Atestino, sono state pubblicate su concessione del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali del Turismo; riproduzione vietata (Polo Museale del Veneto).

Le immagini del cippo di Teolo, conservato presso i Musei Civici agli Eremitani di Padova, sono state pubblicate su concessione del Comune di Padova – Assessorato Cultura e Turismo.

La Gran Carta del Padovano di G. A. Rizzi Zannoni è stata pubblicata su concessione del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali del Turismo – Biblioteca Nazionale Marciana. Divieto di riproduzione.

Le riproduzioni in fig. 5.8; 5.11 a; 5.12 a, b; 5.13 a, b sono state eseguite dalla Sezione di Fotoriproduzione dell'Archivio di Stato di Padova e pubblicate su concessione dell'Archivio di Stato di Padova n. 20/2015 del 22/12/2015, Prot. n. 4144 Cl. 28.13.07/1.2 del 22/12/2015.