

IMT Institute for Advanced Studies Lucca

**TECNOLOGIE INFORMATICHE PER LA CONOSCENZA
E LACOMUNICAZIONE DI LUCCA ROMANA**

**Corso di Dottorato in Tecnologie e
Management dei Beni Culturali**

XXI ciclo

**Tesi di
Lorenza Camin**

2009

La tesi di dottorato di Lorenza Camin è stata approvata da:

Coordinatore del Corso

Prof. Maurizio Boriani, Politecnico di Milano

Relatori

- Arch. Antonella Negri, ICCD-Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, MIBAC, Roma.
- Ing. Massimo Bergamasco, Scuola Superiore S. Anna, Pisa.

Tutor

Ing. Marcello Carrozzino, PERCRO, Scuola Superiore S. Anna, Pisa.

INDICE

Premessa	18
Obiettivi e metodi della ricerca.....	19
1. Lucca in epoca romana	21
1.1 Le principali fonti letterarie	21
1.2 La documentazione iconografica	26
1.3 I monumenti archeologici.....	35
1.3.1 Le mura	36
1.3.2 Il foro	42
1.3.3 Il teatro	45
1.3.4 L'anfiteatro	49
1.3.4 L'anfiteatro	50
1.3.4 L'anfiteatro	51
1.3.5 Scavi archeologici e ricostruzione dell'impianto urbano antico	56
2. Information and Communication Technology (ICT): lo stato dell'arte.....	62
3. Il progetto di "conoscenza": LUCA, un GIS urbano	76
3.1 La configurazione del sistema	76
3.1.1 Tipologia e formato dei dati.....	78
3.1.2 La base dati.....	79
3.2 L'integrazione delle informazioni	83
3.2.1 L'ambiente GIS. LUCA: Looking at an Urban Context Archive.....	85
3.3 La navigazione all'interno del Sistema Informativo: ricerche e analisi	88
4. La condivisione delle informazioni: il SIGEC	90
4.1 Il SIGEC (Sistema Informativo GENERALE del Catalogo).....	90
4.2 L'esportazione dei dati verso il SIGEC	91
5. Acquisizione del dato geometrico: sperimentazioni sull'anfiteatro romano di Lucca.....	94
5.1 Obiettivi.....	94
5.2 Principali sistemi di acquisizione del dato geometrico	94

5.3 Sperimentazione di scansione fotografica: lo ZScan.....	99
5.3.1 Acquisizione di nuvole di punti da immagini digitali	101
5.3.2 Elaborazione della nuvola di punti.....	103
5.3.3 Realizzazione di modelli 3d	106
6. La comunicazione e la fruizione dei Beni Culturali ..	110
6.1 Siti web	110
6.2 WebGIS.....	113
6.3 Ricostruzioni virtuali.....	116
6.4 Applicazione per palmari e apparecchi mobili.....	119
7. LUCAWeb: la comunicazione di Lucca romana.....	122
7.1 Un sito Internet per la comunicazione della ricerca	122
7.2 Utilizzo del CMS Museo&Web per il sito di Lucca romana ...	124
7.3 Fruizione di modelli 3d e sperimentazione con XVR.....	128
8. Conclusioni	133
Bibliografia.....	136
Siti internet citati nel testo	149
Glossario	150
Tavole	156

5.3 Sperimentazione di scansione fotografica: lo ZScan

Per disporre di un rilievo geometrico preciso e dettagliato dei piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro romano e di tre arcate particolarmente ben conservate dello stesso monumento, nell'ambito della presente ricerca è stato sperimentato un sistema innovativo di rilievo: lo ZScan, prodotto dalla Menci Software¹.

Lo ZScan é uno strumento che permette di ottenere una scansione tridimensionale senza utilizzo di laser: l'acquisizione della nuvola di punti avviene infatti direttamente da immagini digitali. Questa tecnica di elaborazione fotogrammetrica multimmagine fornisce come risultato finale un modello 3D utilizzando contemporaneamente tre o più immagini dello stesso oggetto². Alla base di questa strumentazione vi sono i principi delle usuali tecniche di *image matching*, di cui lo ZScan rappresenta la diretta evoluzione: attraverso un software basato su un innovativo algoritmo proprietario di analisi multifocale dell'immagine è infatti in grado di gestire più di due immagini simultaneamente. In questo modo vengono superati alcuni degli ostacoli che si incontrano nella stereoscopia classica: la ridondanza di informazioni consente di eliminare molti dei problemi di occlusione e di verificare la corrispondenza ottenuta su una coppia di immagini attraverso la verifica con le altre.

I tempi necessari a questo strumento per creare dalla scansione un modello tridimensionale sono brevi: il ricorso ad algoritmi propri della Computer Vision, come il tensore trifocale e la rettifica trinoculare, rende particolarmente veloce e gestibile tutto il processo di elaborazione dei dati.

¹ Per maggiori informazioni sullo ZScan e per alcune applicazioni realizzate con questo strumento si consulti il sito www.menci.com

² Su questa tecnica si veda in particolare MENCI L., NEX F., RINAUDO F., *ZScan Menci Software: un nuovo strumento per le elaborazioni fotogrammetriche multimmagine*, Atti dell'11^a Conferenza Nazionale ASITA, Torino 6 – 9 novembre 2007.

La scelta di utilizzare lo ZScan è stata effettuata innanzitutto per le caratteristiche di questo strumento, in grado di fornire un risultato finale preciso e affidabile sia dal punto di vista geometrico che cromatico, dal momento che ogni punto della nuvola viene acquisito non solo con le coordinate x , y , z , ma anche con i valori RGB corrispondenti. La relativa facilità di utilizzo dello ZScan da parte di persone sprovviste di una grande esperienza in questo settore ha costituito un ulteriore motivo: grazie alla disponibilità dei tecnici della Menci Software ho potuto seguire in prima persona non solo le fasi relative alla scansione fotografica, ma anche quelle riguardanti l'elaborazione dei dati ottenuti e la creazione del modello tridimensionale.

Lo ZScan è composto da:

- una fotocamera digitale reflex ad alta risoluzione, sottoposta ad accurata calibrazione presso i laboratori Menci Software e dotata di ottica fissa;
- una slitta di precisione con carrello a ricircolo di sfere;
- un treppiede professionale;
- il software ZScan.



Il montaggio del sistema è piuttosto semplice: si posiziona il cavalletto e si fissa la fotocamera al carrello, che può scorrere lungo la guida ed essere fermato in precise posizioni determinate dai fori situati in questa ad una distanza controllata. Durante le operazioni di rilievo, la fotocamera può essere rimossa senza compromettere la calibrazione del sistema (fig. 55).

Fig. 55 – Zscan: kit di ripresa.

5.3.1 Acquisizione di nuvole di punti da immagini digitali

Per rilevare le tre arcate dell'anfiteatro romano, corrispondenti ai cunei 30-32, il treppiede è stato posizionato sui piani di un ponteggio montato per effettuare lavori di recupero alle facciate del complesso abitativo situato nella piazzetta antistante. Una serie di problemi logistici, legati alla costante presenza di macchine parcheggiate nella piazzetta e alla scarsa larghezza di via dell'Anfiteatro, non permettevano infatti una ripresa completa delle tre arcate collocando lo strumento direttamente sul piano stradale. L'utilizzo del ponteggio, se da un lato ha favorito la scansione, dall'altro ha comportato una perdita di qualità dell'immagine fotografica, ottenuta da una distanza di circa 18 metri, eccessiva rispetto a quella consigliata per il raggiungimento di un risultato ottimale, intorno ai 10 -12 metri.

La macchina digitale adoperata è stata una NIKON D80, con cui sono state realizzate due serie distinte di scansioni fotografiche: nella prima è stato utilizzato un obiettivo 24 mm e per riprendere in altezza le tre arcate è stato necessario posizionare lo strumento sul primo e sul secondo piano del ponteggio; per la seconda, effettuata con un obiettivo 50 mm, è stato sufficiente il secondo piano del ponteggio.

La guida di precisione utilizzata era lunga 900 mm.

Dopo aver sistemato lo strumento è stata realizzata la prima sequenza di tre scatti, facendo scorrere la fotocamera in tre differenti posizioni calibrate sulla guida. Questa operazione è stata ripetuta altre due volte, in associazione con lo spostamento dello ZScan in altrettanti punti del piano del ponteggio. Il lavoro è quindi proceduto con la seconda sequenza di scatti, effettuata dal primo piano del ponteggio seguendo le stesse modalità. Gli scatti devono essere infatti ordinati da sinistra verso destra, da una posizione superiore e da una inferiore e simmetrici rispetto al punto centrale della guida.

I tempi di acquisizione sono stati quindi relativamente veloci, pari all'esecuzione di 18 fotografie.

Con la stessa macchina digitale, utilizzando un obiettivo 24 mm, è stata effettuata la scansione fotografica di entrambi i piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro. In questo caso lo strumento è stato collocato sul piano stradale e per eseguire una ripresa fotografica

completa la facciata e le pareti laterali di ciascun pilastro sono state scomposte in due parti, una superiore e una inferiore (fig. 56).

In entrambi i casi il risultato ottenuto è stato immediatamente verificato importando in un computer portatile, provvisto di software ZScan, le immagini prodotte dalla fotocamera.

In tutte le sperimentazioni, lo ZScan si è dimostrato una valida tecnologia di rilievo: il sistema innovativo alla base della strumentazione non necessita di un supporto topografico e permette di ottenere in tempi rapidi le immagine fotografiche, riducendo i costi e anche il peso delle attrezzature tradizionali. In questo contesto può essere utile evidenziare che ZScan si adatta a qualsiasi tipo di fotocamera digitale, purché venga sottoposta a calibrazione nei laboratori Menci Software.



Fig. 56 – Zscan: un momento della ripresa effettuata ai piedritti dell'ingresso dell'anfiteatro.

5.3.2 Elaborazione della nuvola di punti

Dopo aver compiuto la scansione fotografica, il lavoro è continuato nello specifico ambiente software associato al sistema. Nell'applicazione ZScan, per elaborare le immagini è necessario importarle per triplette, o *posizioni*: ognuna di queste costituisce infatti la sequenza dei tre scatti effettuata da una stessa posizione del treppiede e quindi ogni tripletta è composta da un'immagine sinistra, da una centrale e da una destra. Di conseguenza, nel progetto ZScan relativo alle arcate è stato sufficiente importare due triplette delle immagini scattate con l'obiettivo da 24 mm e una sola per quelle riprese con l'obiettivo da 50 mm, mentre nel progetto dei piedritti sono state importate sei triplette.

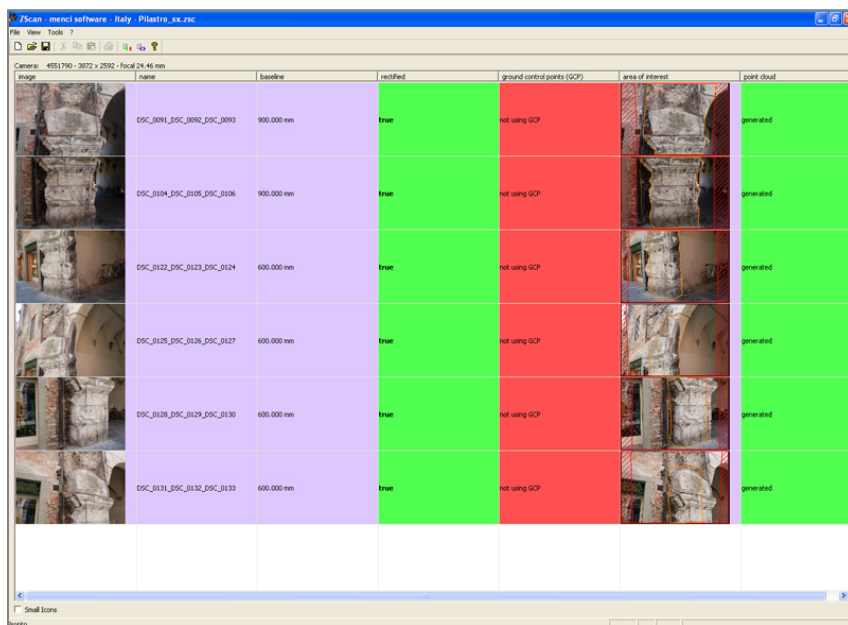


Fig. 57 – ZScan: importazione e scelta dei fotogrammi dei piedritti dell'ingresso dell'anfiteatro per l'elaborazione dei modelli.

Una volta inserite le immagini sono stati precisati tutti i parametri relativi alla ripresa fotografica: innanzitutto a ogni posizione è stata specificata la *baseline*, ovvero il punto di partenza della fotocamera sulla

guida di precisione, ed è stata effettuata la rettifica trinoculare. Infine, dopo aver definito sull'immagine l'area d'interesse mediante quattro punti, è stato eseguito il processo di generazione della nuvola di punti. La creazione di quest'ultima non richiede alcun punto di controllo (GCP, *Ground Control Point*), ma se rilevati è comunque possibile inserirli (fig. 57).

In questa fase del lavoro sono state messe in luce alcune difficoltà, riguardanti la restituzione di alcune parti delle arcate dell'anfiteatro: la trasparenza dei vetri delle finestre e la presenza di un ombrellone da esterni non hanno infatti permesso allo strumento di rilevare la posizione dei punti, creando delle lacune sulla superficie.

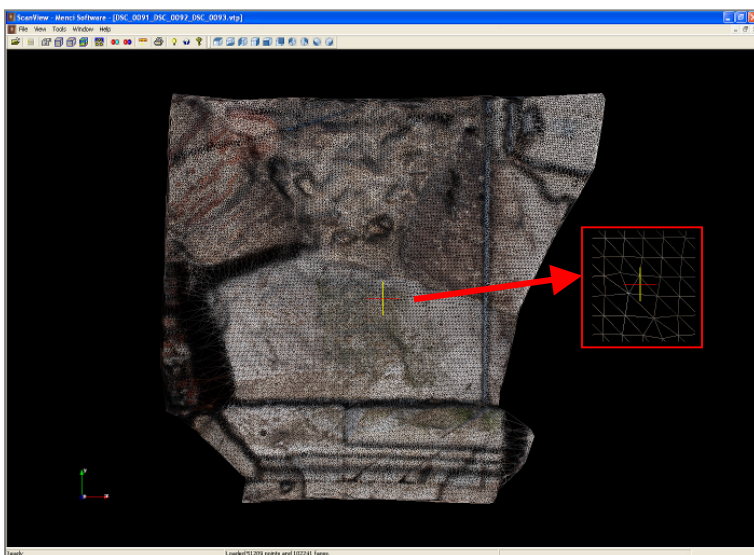


Fig. 58 – ScanView: modello 3D della parte superiore del piedritto sinistro. Modalità di visualizzazione *wireframe*

Il tempo necessario per questa operazione dipende dalla dimensione delle aree e dal passo di risoluzione impostato; un computer standard produce circa 800 punti tridimensionali al secondo. La nuvola di punti delle arcate dell'anfiteatro è formata da 59446 punti e 117604 facce, mentre quella di un pilastro è costituita in totale da circa 184000 punti e 367000 facce.

Quando un modello e' stato generato può essere visualizzato e gestito direttamente all'interno di ZScan, dove è possibile cambiare ad esempio le modalità di rappresentazione tra punti (*points*), rete (*wireframe*) o superficie (*surface*), o con il software ScanView, il visualizzatore esterno di ZScan scaricabile gratuitamente dal sito della Menci Software, che permette anche di effettuare misurazioni sul modello (fig. 58).

I modelli tridimensionali ottenuti forniscono dunque fin da questa fase un bagaglio informativo qualitativamente e quantitativamente ricco poiché derivante da immagini ad alta risoluzione geometricamente controllate.

5.3.3 Realizzazione di modelli 3d

La fase relativa al post-processamento delle nuvole di punti ottenute è stata gestita all'interno del software Z-Map, sempre prodotto dalla Menci Software³. Z-Map è un'applicazione che offre numerose funzioni avanzate tra cui la gestione e l'unione di modelli 3D, l'*edit* di superfici, la generazione di ortofoto, l'orientamento e il disegno su immagini. Poiché le funzioni disponibili in Z-Map includono tutti i comandi CAD standard, le nuvole di punti possono essere perfettamente integrate in ambiente CAD e processate come normali entità. Inoltre, utilizzando precisi strumenti ogni nuvola può essere ripulita dal rumore, triangolata, georiferita e convertita in altri formati standard, come wrml o ascii⁴.

Nel nostro caso è stato innanzitutto possibile ricavare un unico modello tridimensionale sia delle arcate sia dei piedritti dell'ingresso dell'anfiteatro. In questo secondo caso l'operazione si è rivelata

³Informazioni più dettagliate su questo software sono disponibili sul sito: http://www.menci.com/index.php?page=shop.browse&category_id=2&option=com_virtuemart&Itemid=1

⁴ Sulle principali funzionalità di Z-Map CECCARONI F., *Generazione di ortofoto ad alta risoluzione su scansione laser: il sistema Z-Map di Menci Software*, Geomedia, 1, Istituto Grafico Editoriale Romano, Roma, 2005, pp. 26-28.

particolarmente importante, dal momento che ogni piedritto risultava composto da sei modelli distinti. Dopo che ognuno di questi è stato caricato in Z-Map, attraverso la collimazione di punti omologhi individuati nei modelli è stato infatti generato un solo modello tridimensionale (fig. 59). L'associazione dei punti avviene in tempi molto brevi: il software si avvicina infatti automaticamente alla zona d'interesse, rendendo necessaria solo una rifinitura al procedimento.

Va sottolineato che la parziale sovrapposizione dei modelli permette la copertura completa dell'oggetto e che la possibilità di utilizzare prese fotografiche acquisite da differenti punti di vista consente l'integrazione delle aree occluse attraverso la collaborazione tra le immagini (fig. 60).

Applicando al modello la *texture* è possibile visualizzare direttamente sull'immagine ogni dettaglio relativo alle strutture rilevate.

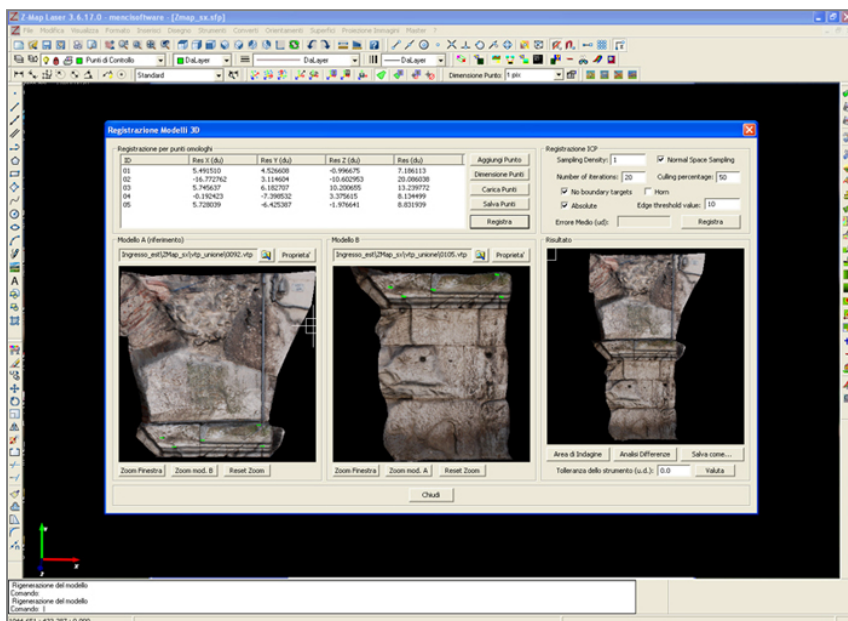


Fig. 59 – Zmap: collimazione dei punti tra la parte alta e la parte bassa del modello di uno dei piedritti, con il risultato nella finestra di destra.

Il modello 3D ottenuto permette di compiere non solo diversi tipi di analisi, come operazioni di misura, valutazioni sullo stato di conservazione o sulla tecnica costruttiva, ma soprattutto di eseguire la restituzione vettoriale nelle tre dimensioni, ottenendo una rappresentazione geometricamente corretta degli elementi sottoposti a scansione. Questa può essere ulteriormente arricchita attraverso la sovrapposizione di ulteriori informazioni, come ad esempio l'indicazione delle aree sottoposte ad alterazioni o a patologie di

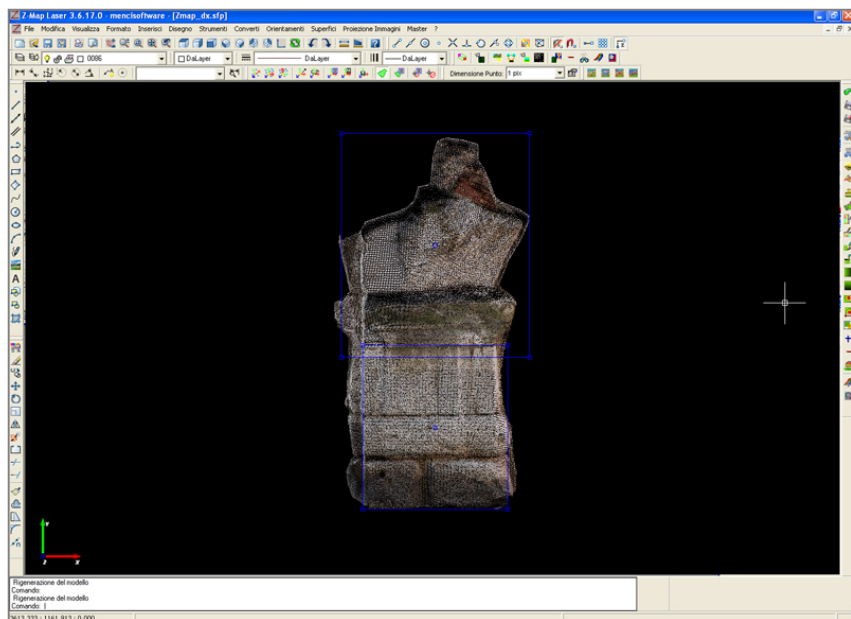


Fig. 60 – Z-map: visualizzazione dell'unione dei modelli di uno dei piedritti; in blu le parti che compongono il prospetto.

degrado.

Fra le funzionalità di Z-Map vi è anche quella di creare un DEM (*Digital Elevation Model*), ovvero una rappresentazione crom-altimetrica raster delle quote della superficie scansionata. Nel DEM delle arcate dell'anfiteatro gli elementi più lontani rispetto all'obiettivo della fotocamera appaiono di colore blu, quelli più vicini hanno tonalità comprese tra il giallo e il rosso (fig. 61).

La sperimentazione effettuata ha consentito di verificare l'effettiva rapidità di acquisizione dei dati e, soprattutto, la relativa facilità di elaborazione e restituzione della nuvola di punti anche da parte di un operatore non esperto.

Il sistema di rilievo sperimentato ha prodotto un modello tridimensionale geometricamente affidabile e con un elevato dettaglio di informazioni, che permette anche ai non addetti ai lavori una lettura immediata delle strutture rilevate (Tavv. 4 e 5).

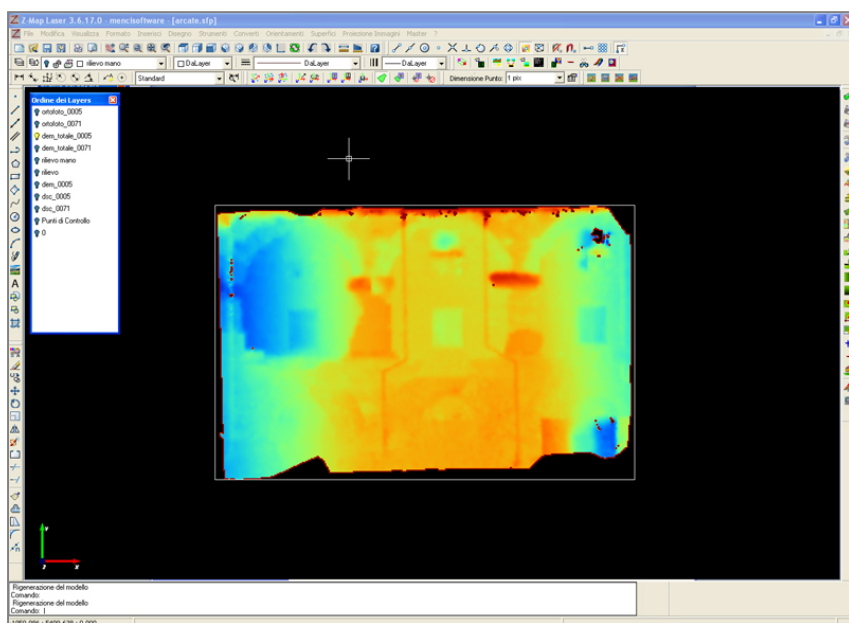
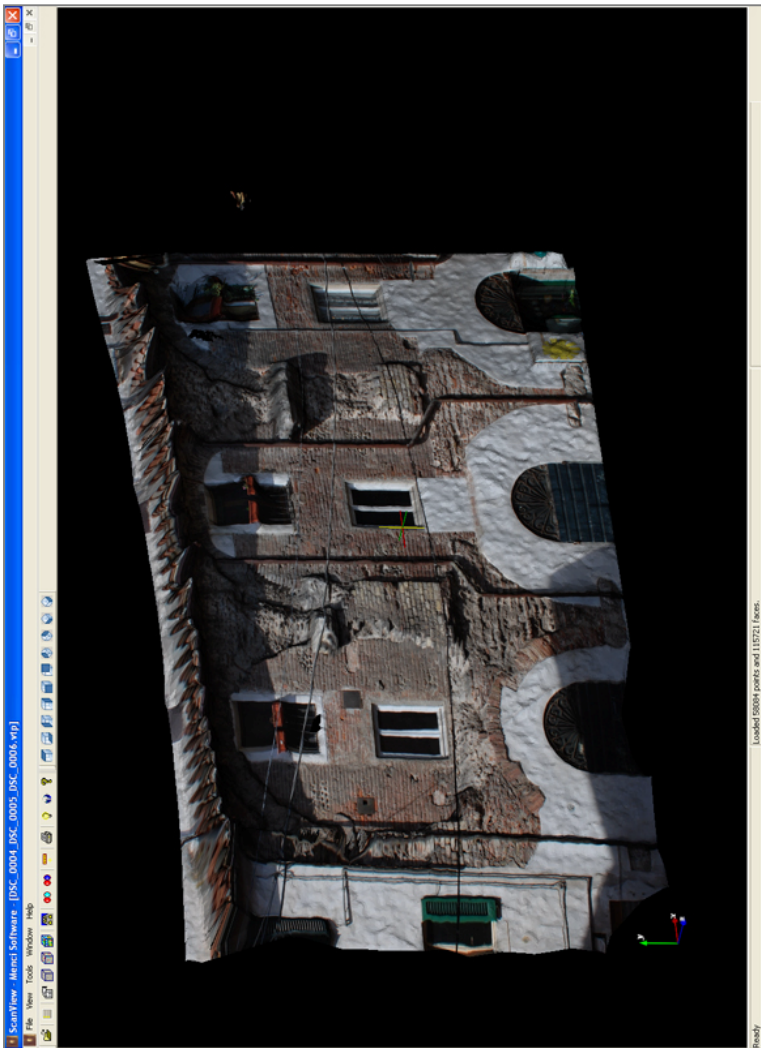
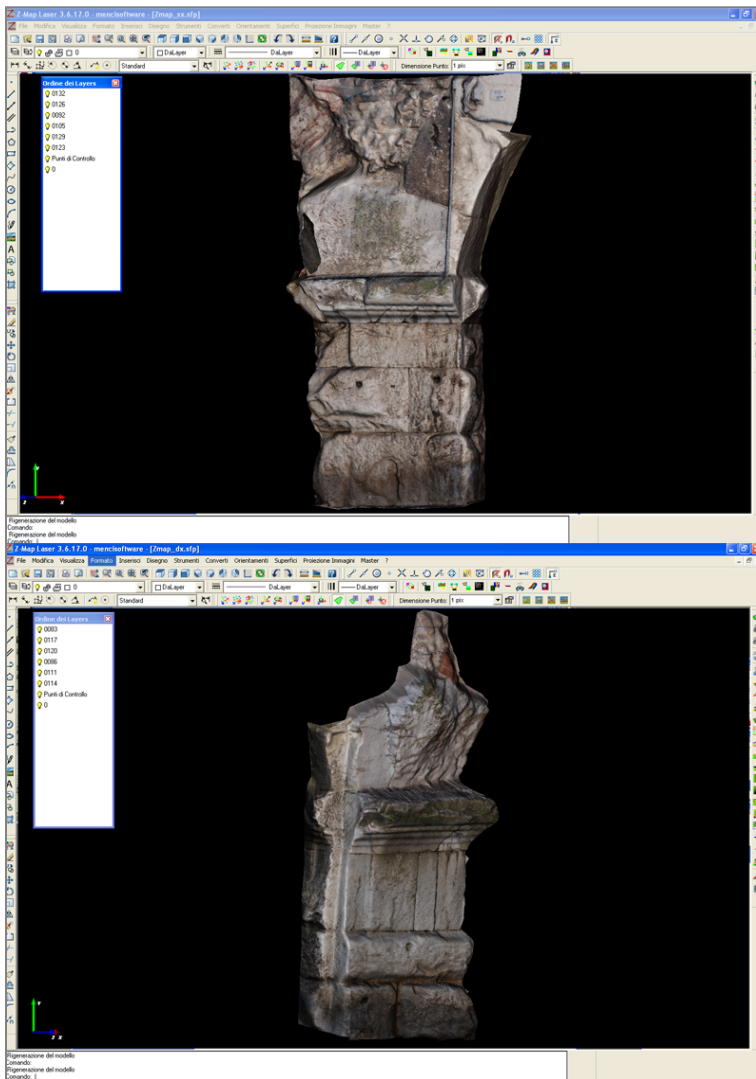


Fig. 61 – Zmap: rappresentazione cromo-altimetrica raster delle quote della superficie del modello delle arcate. In blu appaiono gli oggetti più lontani, in giallo-rosso quelli più vicini.



Tav. 4 - ZMap: modello tridimensionale delle arcate della facciata dell'anfiteatro.



Tav. 5 - ZMap: modello tridimensionale dei piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro.