

# IL RILIEVO PER LA RAPPRESENTAZIONE 3D: LA CITTÀ ROMANA DI GRUMENTUM

Caterina Balletti, Francesco Guerra

Università IUAV di Venezia – laboratorio di fotogrammetria – Circe  
s. croce 1624, 30125 Venezia  
[balletti@iuav.it](mailto:balletti@iuav.it), [guerra2@iuav.it](mailto:guerra2@iuav.it)

**KEY WORDS:** Laser Scanner, fotogrammetria digitale, immagini alta risoluzione, modellazione, multirisca

## ABSTRACT

Le esigenze di documentazione sia in campo archeologico che architettonico unite alla possibilità di una gestione al computer dei modelli infografici sembrano spingere verso una convivenza tra le rappresentazioni statiche “classiche” e i modelli dinamici.

Attualmente per predisporre un apparato conoscitivo appropriato, si ricorre all’uso integrato di laser scanner 3D, tecniche di fotogrammetria digitale ed gps, al fine di ottenere un modello computerizzato tridimensionale. Infatti la complessità e la ricchezza dei siti archeologici pone la necessità di rilevare la posizione dei manufatti all’interno di un’area urbana, di rilevare ogni singolo edificio (rilievo dei manufatti architettonici emergenti) e di rilevare anche ogni frammento che viene ritrovato (rilievo dei particolari).

Il rilievo diventa dunque non solo studio della città e delle architetture ma anche un “contenitore” multiscala per la catalogazione delle emergenze, in un suo uso strumentale alle discipline archeologiche.

Le difficoltà tecniche e concettuali incontrate in precedenti esperienze (campagne di rilievo archeologico in Turchia, Laodicea 1995-2002; Grecia, Poliokni 1997; Italia, Santu Antine 1997-2003) e la diversa formazione culturale di architetti e archeologi spingono a riflettere sui metodi, sulle procedure e sugli strumenti del lavoro di rilievo architettonico nella sua applicazione ai siti archeologici.

Nell’articolo si parla del recente rilievo del sito archeologico di Grumentum in Basilicata, svolto all’interno del progetto del PRIN04, delle tecniche studiate e applicate per realizzare modelli 3D per la rappresentazione dell’area archeologica con le sue architetture. Il rilievo assume un ruolo fondamentale sia come registrazione dello stato di fatto (modello geometrico) sia come supporto delle analisi che vari operatori possono realizzare. Una nuova opportunità di gestione integrata è offerta dai modelli multiscala, ovvero di modelli che possano essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione.

The need for documentation, together with the possibility of computer management of the infographic models seems to be shifting the discipline towards a co-existence of the traditional static representations and the dynamic models.

At the present state of the art, innovative approaches in survey to use and set up an appropriate cognitive apparatus include the integrated use of the more modern tools of survey such as 3D laser scanner, digital photogrammetry and GPS, in order to obtain a computerized 3D model.

Considering the complexity and breadth of archaeological sites, we are confronted with the need to survey the position of buildings in an urban area in addition to each individual building (survey of emerging architectonic objects) and every fragment that is found on the site (survey of the details).

In addition to the use of survey as a study of the city and the architecture, we need to use survey as a multi-scale "receptacle" for categorizing the projections, in its instrumental use in archaeological disciplines.

The technical and conceptual difficulties encountered in our previous experiences (archaeological survey campaigns in Turkey, Laodicea 1995-2002; Greece, Poliokni 1997; Italy, Santu Antine 1997-2003), in carrying out the procedures and the diverse cultural backgrounds of architects and archaeologists have led us to reflect on the methods, procedures and instruments used in architectonic survey work in its application to archaeological sites.

## Premessa

Negli ultimi anni l’aggettivo *numerico* o *digitale* che sempre più spesso accompagna i termini “rilievo” e “rappresentazione” non fa altro che sottolineare come l’evoluzione che si è avuta negli strumenti e nelle metodologie abbia inevitabilmente imposto un approccio diverso nel settore della conoscenza e documentazione del patrimonio culturale.

Tra le varie esperienze in atto, molte hanno lo scopo di studiare, approfondire e sviluppare le tecniche per il rilievo dimensionale e la ricostruzione 3D di luoghi e oggetti con particolare attenzione agli aspetti metrologici del problema, mediante il confronto tra metodi di rilievo “tradizionale” e quelli di recente applicazione. In particolare recentemente si è assistito ad un rapido sviluppo di tecnologie di scansione 3D per la conoscenza di forme anche ad alta complessità morfologica, sviluppo che ne ha affermato l’efficacia come metodo per l’analisi e la conservazione dei Beni Culturali.

Il rilievo del sito di Grumentum (Basilicata), caso studio individuato nel progetto di ricerca “*Sistemi di rilievo e modellazione tridimensionali per l’architettura e l’archeologia. Integrazione di tecniche laser scanning e fotogrammetriche per la realizzazione di modelli 3D multiscala mappati*”, si colloca all’interno di quelle attività sperimentali che hanno lo scopo principale di definire dei protocolli e delle specifiche di rilievo e di modellazione, sperimentando i più recenti strumenti nel campo della documentazione della forma e del colore e studiando delle forme di rappresentazione alternative o complementari a quelle tradizionali.

La campagna di rilievo e le successive fasi di processamento ed elaborazione sono state organizzate secondo step precisi:

- individuazione e studio delle procedure di rilevamento con integrazione laser-scanning e fotogrammetria per le parti a terra o scavate. Questa fase ha previsto lo studio per l’ottimizzazione delle scansioni e delle prese per il rilievo delle strutture in elevazione presenti, modificando e integrando quanto in uso nei rilievi architettonici. Inoltre si è voluto investigare in particolare l’opportunità di

realizzare un modello digitale del sito attraverso un DEM da terra mediante laser-scanner e delle prese aeree calibrate da pallone frenato o da altro mezzo di elevazione.

- Studio dei metodi per l'integrazione dei rilievi in pianta e alzato al fine di definire un unico sistema 3D: si tratta di individuare delle invarianti rispetto alla scala di rappresentazione nella geometria dell'oggetto (una rivisitazione del concetto cartografico della generalizzazione) e procedere quindi alla georeferenziazione.
- Ricerca delle procedure ottimali per la realizzazione dei modelli tridimensionali mappati a differenti scale nominali e con differenti livelli di dettaglio sia per la rappresentazione dell'area sia delle architetture.

### La città romana di Grumentum

Recentemente la Soprintendenza Archeologica della Basilicata ha proposto al prof. Attilio Mastrocinque dell'Università degli studi di Verona in collaborazione con il prof. Sperti dell'Università degli studi di Venezia di organizzare indagini storiche, epigrafiche ed archeologiche nel sito di Grumentum. L'insufficienza degli studi e della valorizzazione del vasto patrimonio archeologico, epigrafico e storico dell'area rendono il progetto particolarmente interessante.



fig. 1 Viste aeree del sito (a sinistra) e dei templi del Foro (a destra)

Grumentum è uno dei principali abitati della Lucania antica, la cui nascita va collocata nella prima metà del III sec. a.C.. Viene menzionato dalle fonti all'epoca della seconda guerra punica, quando i Romani si scontrarono con Annibale, il cui campo era situato nei pressi delle mura di *Grumentum*. Il centro fu trasformato in colonia romana nel 133 a.C. mantenendo pressoché intatto l'originario impianto urbanistico, sviluppatosi su assi longitudinali, intersecati da assi minori trasversali. Fu scelto dai Romani per la sua posizione strategica: infatti, sebbene ubicato in un'area montuosa interna, era ben collegato con Venosa e la via Appia, a nord, e con la costa tirrenica e la via Popilia a sud. La fase più antica dell'insediamento è documentata da pochi resti dell'impianto urbano (un tratto di via *glareata* e una struttura artigianale per la produzione di statuette), mentre più cospicue sono le vestigia della città romana. Nella parte meridionale della città è il teatro di età augustea, nelle cui adiacenze sono stati rinvenuti un tempietto di tipo italico racchiuso da un recinto porticato (età Severiana) e una grande domus con pavimenti a mosaico, in uso dal I al IV sec. d.C., forse identificabile con una *domus augustalium*. Sulla terrazza centrale della città è invece il foro, con il capitolium sul lato settentrionale; verso nord – est l'anfiteatro, di forma ellittica (seconda metà del I sec. a.C.). Sopravvivono inoltre tratti della cinta muraria in *opus quasi reticulatum*, il cui restauro nel 57 e nel 51 a.C. è attestato da due iscrizioni.

Grumentum è fra le più importanti città romana della regione e il suo successivo abbandono ha fatto sì che sopra le rovine antiche non ci sia un abitato moderno.

Della città si riconoscono due aree principali. All'ingresso della prima vi è il teatro, costruito in età Giulio Claudia, che occupa parte di due insulae. Ristrutturato tra il II ed il III sec. D.C., esso ci è pervenuto con buona parte della cavea, suddivisa in summa, media ed ima, di cui si osservano gli accessi dai corridoi interni.

La città prosegue poi con l'area forense, sviluppata in particolar modo tra l'età augustea e quella tiberiana; essa è delimitata a sud dal Tempio C, dedicato al culto imperiale, mentre a nord possiamo trovare il Capitolium dedicato alla triade capitolina. Ad ovest resta il lungo muro della Basilica luogo di mercato e di giustizia, che si apriva con un colonnato sul foro e, più avanti, altri ambienti pubblici. Ultimo e più imponente monumento della città è l'anfiteatro, ubicato nell'angolo Nord-Orientale dell'area, dalla forma ellittica che in parte sfrutta il naturale pendio collinare e, in parte, è costruito in muratura. La sua nascita è quasi contemporanea all'anfiteatro di Pompei.

La campagna di rilievo si è concentrata in particolare in corrispondenza delle aree di interesse delle attività di scavo e quindi sull'area forense e sull'anfiteatro, monumento particolarmente interessante anche da un punto di vista di ricostruzione architettonica.

### La campagna di rilievo - agosto 2005

Per predisporre un apparato conoscitivo appropriato si ricorre attualmente all'uso integrato di laser scanner 3D, tecniche di fotogrammetria digitale ed gps, al fine di ottenere un modello numerico tridimensionale. Infatti la complessità e la ricchezza dei siti archeologici pone la necessità di rilevare la posizione dei manufatti all'interno di un'area urbana, di rilevare ogni singolo edificio (rilievo dei manufatti architettonici emergenti) e di rilevare anche ogni frammento che viene ritrovato (rilievo dei particolari).

Il rilievo diventa dunque non solo studio della città e delle architetture ma anche un "contenitore" multiscala per la catalogazione delle emergenze, in un suo uso strumentale alle discipline archeologiche.

Data la "dispersione" sul territorio e la varietà dimensionale che spesso caratterizza i siti archeologici e le architetture che su di essi insistono, il rilievo topografico ha un ruolo fondamentale per la georeferenziazione delle singole emergenze in un unico sistema di riferimento. E' infatti attraverso alla georeferenziazione che si possono individuare delle invarianti rispetto alle diverse scale di rappresentazione nella geometria degli oggetti. Il rilievo topografico, tradizionale da terra e GPS, ha lo scopo quindi non solo di definire il sistema di riferimento ma anche di determinare dei punti di controllo invarianti in più scale di rappresentazione.

Per questo la rete di inquadramento dell'intero sito si è composta in realtà in due schemi: uno composto di 12 vertici sviluppato nell'area del foro secondo la direzione del decumano e l'altro di 5 vertici distribuiti attorno e all'interno dell'anfiteatro. Alcuni dei vertici delle due reti sono stati rilevati anche con misure GPS per assicurare la realizzazione di un unico datum. La rete a terra è stata realizzata con total station Leica TCA 2003, mentre quella GPS con Leica GPS System 500 e GPS1200. La rete complessiva, compensata ai minimi quadrati, ha fornito la posizione dei vertici con sqm massimi di 3mm.

Anche i punti di appoggio al rilievo fotogrammetrico sono stati rilevati sia con misure topografiche (Leica TCR1103 e TCRM 1103) da terra che GPS in modalità RTK.



fig. 2 Scansioni nell'area dell'anfiteatro

Le procedure di rilevamento seguite sono state finalizzate all'integrazione dei dati laser-scanning e quelli fotogrammetrici in particolare per le parti orizzontali (a terra, scavate o corrispondenti ai crolli). Si sono inoltre ottimizzate le scansioni e le prese per il rilievo delle strutture in elevazione presenti, seguendo e integrando quanto normalmente in uso nei rilievi architettonici.

Nel caso di un sito archeologico diventa di particolare interesse la realizzazione di un modello digitale attraverso un DEM da terra mediante laser-scanner e delle prese aeree calibrate da pallone frenato.

Le scansioni da terra devono garantire di ottenere un modello denso e uniforme nella risoluzione di tutte le superfici.

Il laser-scanner in dotazione al laboratorio è il modello LMS-Z360i della Riegl integrato con camera digitale Nikon D100. Si tratta di un sensore terrestre portatile, adatto all'acquisizione veloce di immagini tridimensionali di buona qualità anche in presenza di difficili condizioni ambientali. Lo strumento è un'ottima combinazione di mezzi ottico-elettronici atti a ricreare dei modelli di superficie tridimensionali in breve tempo e anche a distanze elevate di scansione.

Una delle caratteristiche più interessanti introdotte dalla Riegl è di aver sviluppato un sistema "ibrido laser scanner-fotogrammetrico" che offre la possibilità di acquisire non solo le tre osservazioni necessarie alla determinazione delle coordinate X,Y,Z di ogni punto ma anche di acquisire anche i valori RGB corrispondenti al singolo punto rilevato.

Per poter ottenere dei valori RGB accurati e con risoluzione spaziale elevata, la Riegl ha assemblato in modo solidale al laser-scanner una fotocamera digitale pre-calibrata (Nikon D100 con ottica 20mm). Questa fotocamera si configura in pratica esattamente come un fototeodolite in quanto è possibile registrare direttamente la posizione e l'orientamento di ogni singolo scatto nel sistema di riferimento laser-scanner. Sono infatti noti da calibrazione i 6 parametri (3 rotazioni e 3 traslazioni) che permettono il passaggio dal sistema scanner al sistema camera.

Il sistema, integrando fotogrammetria e laser scanning, rappresenta una delle migliori soluzioni tecniche oggi disponibili in grado di soddisfare tutte le esigenze di rilievi laser scanner terrestri.

La rumorosità dello strumento ( $\pm 1\text{cm}$  nella determinazione della distanza) è sicuramente compensata dalla velocità delle acquisizioni, inoltre la ridondanza dei dati ha permesso di ottenere dei risultati adeguati alle precisioni richieste per la descrizione degli oggetti architettonici che caratterizzano il sito. Nelle aree di maggior interesse le scansioni sono state fatte cercando di assicurare la maggiore ortogonalità alla superficie, accorgimento necessario per la riduzione del *noise* nella nuvola, oltre che un'omogenea distribuzione dei punti.

In totale si sono eseguite 17 scansioni in modalità overview (angolo di ricoprimento:  $360^\circ$ ; passo  $0.12^\circ$ ) e dettagliata (finestra di scansione ridotta con passo  $0.05^\circ$ ) nell'area del foro, e 13 nell'area dell'anfiteatro, sempre nelle due modalità. Le nuvole sono state allineate sulla base di punti di appoggio rilevati topograficamente e punti di legame distribuiti nell'area di scansione. La precisione sugli allineamenti è inferiore a 1cm.

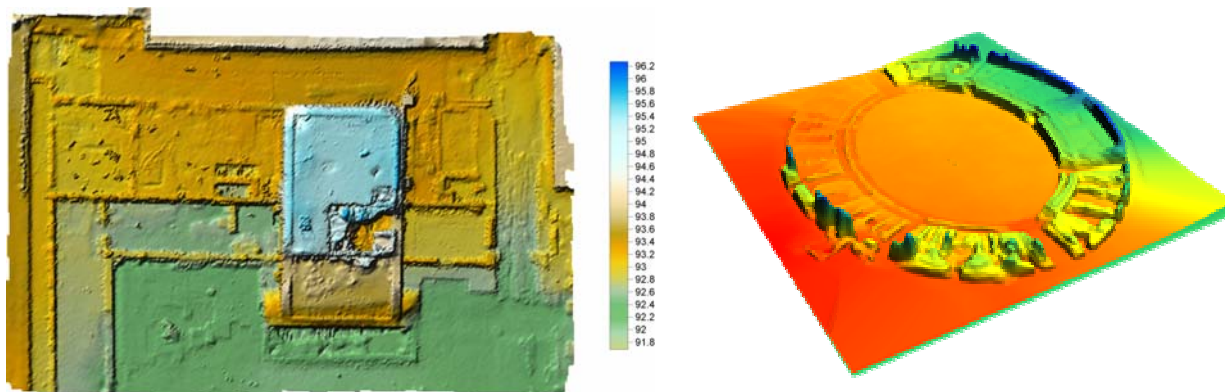


fig. 3 Viste del DEM del Tempio C nel Foro e dell'Anfiteatro

Per garantire un'elevata risoluzione nelle immagini, per le parti a terra o a sviluppo orizzontale si è ricorso alla fotogrammetria da pallone.

La fotogrammetria ha un ruolo fondamentale nel settore della tutela del patrimonio culturale come metodo di rilievo e di documentazione dettagliata della struttura degli oggetti. Dato che le riprese da aereo spesso presentano una risoluzione insufficiente rispetto alle scale di rappresentazione richieste (1:100, 1:50), si è pensato di utilizzare un pallone frenato attrezzato per riprese fotogrammetriche a piccola altezza (20- 30m).

Il sistema utilizzato era composto da un aerostato a fuso sostenuto a elio, vincolato con dei cavi per il controllo da terra e un sistema radiocollato per l'acquisizione delle immagini. Al pallone è collegata una piattaforma orientabile per la camera digitale, una Fuji S3 (12 Mpixel) con ottica 20mm calibrata, su cui viene installata una telecamera che trasmette a terra delle immagini corrispondenti agli scatti da eseguire.



fig. 4 Fase di acquisizione da pallone



fig. 5 Il sistema di ancoraggio e controllo della camera digitale al pallone frenato



fig. 6L'ortofoto dell'anfiteatro in scala 1:100

Il sistema si è dimostrato assolutamente funzionale allo scopo, anche se inevitabilmente se ne sono riscontrati i limiti già noti: in condizioni di vento anche leggero il controllo delle riprese è del tutto impossibile, così come il sistema di controllo a terra non sempre assicura l'acquisizione di prese ottimizzate alla fotogrammetria. I fotogrammi delle strisciate presentano sempre grosso modo l'asse ottico nadirale ma non seguono una geometria regolare.

La realizzazione delle ortofoto del sito si è basata sull'utilizzo del DEM denso ottenuto dai dati laser scanner e i fotogrammi acquisiti da pallone. Le scale nominali vanno dalla rappresentazione 1:200 per l'intera area, 1:100 per i singoli monumenti fino ad arrivare alla scala 1:20 per i fronti in elevazione.

Soprattutto per le scale di maggior dettaglio, il trattamento dei dati geometrici, ossia la creazione del DEM, è ovviamente quello più laborioso, in quanto bisogna applicare attentamente le operazioni di smoothing senza eliminare troppe informazioni sulla morfologia degli oggetti. E' proprio in questa fase del lavoro che si risente maggiormente delle caratteristiche della strumentazione laser e dell'assenza di un unico software all'interno del quale compiere tutte le operazioni, dal filtraggio, alla triangolazione, fino alla modellazione nurbs.

### La rappresentazione digitale

Le nuove tecnologie digitali permettono da una parte una razionalizzazione e "velocizzazione" delle operazioni di rilievo, dall'altra di creare delle nuove rappresentazioni infografiche che possono adattarsi facilmente alle diverse esigenze degli studiosi e degli operatori (architetti, archeologi, ingegneri, restauratori, storici).

Tra le possibili rappresentazioni, i modelli tridimensionali con superfici mappate con texture fotorealistiche ad alta risoluzione sono sicuramente di grande versatilità, nell'ottica di fornire una banca dati che documenti lo stato attuale del sito e fornisca la possibilità di interpretare lo stato originario e le successive trasformazioni dei monumenti ancora visitabili. Le mappature possono essere semplice integrazione del modello geometrico, nel caso di texture fotorealistiche, o il risultato di analisi specifiche.

Spesso di fronte a modelli 3D ci si domanda a cosa servano, se sono veramente utili, se diverranno indispensabili.

La risposta a questa domanda deve quindi guidare le fasi necessarie alla costruzione della rappresentazione finale. La modalità con cui approssicare l'acquisizione tridimensionale varia a seconda dei casi: deve essere sempre chiara la finalità del modello che si vuole acquisire. Nel caso di un rilievo per la verifica geometrica è indispensabile che ci sia una corrispondenza metrica puntuale tra oggetto fisico e modello numerico. Nel caso di modelli realizzati per la "ricostruzione virtuale" di luoghi o oggetti non più visibili, si predilige la componente geometrico-descrittiva sulla base di analisi tipologiche più che la corrispondenza tra reale e virtuale.

L'opportunità fondamentale offerta dai modelli geometrici 3D è la possibilità di realizzare dei **modelli multiscala**, ovvero dei modelli che possano essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione.

Le diverse scale derivano in genere dal rilievo a diversa scala nominale di oggetti che tradizionalmente hanno necessità di diversa definizione di dettaglio: si va dalla rappresentazione dell'intero sito archeologico (scale 1:1000, 1:500) a un monumento all'interno di esso (scale 1:200, 1:100, 1:50, 1:20), oppure oggetti quali statue o frammenti di architettura (scale 1:10, 1:5, 1:1). Tali oggetti territoriali (sito, architetture, oggetti particolari) devono convivere all'interno di modelli complessi dei quali si deve dare una rappresentazione unitaria a diverse scale. Come si è già affermato nell'articolo, è fondamentale individuare sia delle strategie di rilievo che di integrazione, finalizzate alla multirisoluzione.

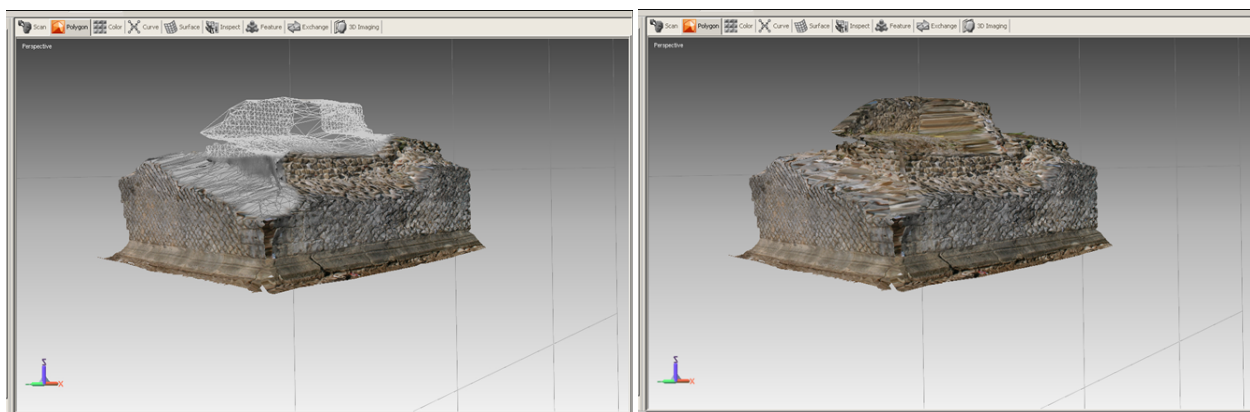


fig. 7 Modello per superfici texturizzate di una parte del Capitulum

In particolare nei modelli tridimensionali mappati si deve considerare non solo il dettaglio geometrico ma anche la definizione della texture applicata alla superficie. Infatti la qualità descrittiva e metrica del modello è data dalla somma della componente geometrica e dalla componente raster applicata. Verrebbe naturale pensare che a maggiore risoluzione geometrica debba corrispondere maggiore risoluzione della texture. Ciò non sempre è vero in quanto a volte proprio il fine di minimizzare l'impiego di risorse è sensato privilegiare una delle due componenti, tenendo in considerazione le caratteristiche proprie dell'oggetto rilevato. Ad esempio, nel caso di una parete affrescata, ragionevolmente assimilabile ad un piano, sarà privilegiata la componente raster, mentre nel caso di un capitello corinzio dovrà essere ricercata una grande definizione geometrica.

Nei modelli multirisoluzione mappati quindi si deve bilanciare la componente geometrica e quella raster in ragione del mantenimento delle caratteristiche metriche e semantico-percettive dettate dalla scala nominale della rappresentazione.

Per chi afferisce alle discipline del rilevamento e ovvio che risulta di particolare importanza il mantenimento dei requisiti di precisione che normalmente caratterizzano gli elaborati di un rilievo in funzione della scala nominale.

Deve perciò essere investigato il rapporto tra incertezza del modello tridimensionale mappato, derivato dall'incertezza delle misure, e semplificazione del modello, che deriva dalla volontà di selezionare e trasmettere solo alcune informazioni geometriche ritenute essenziali per la descrizione dell'oggetto a una determinata scala.

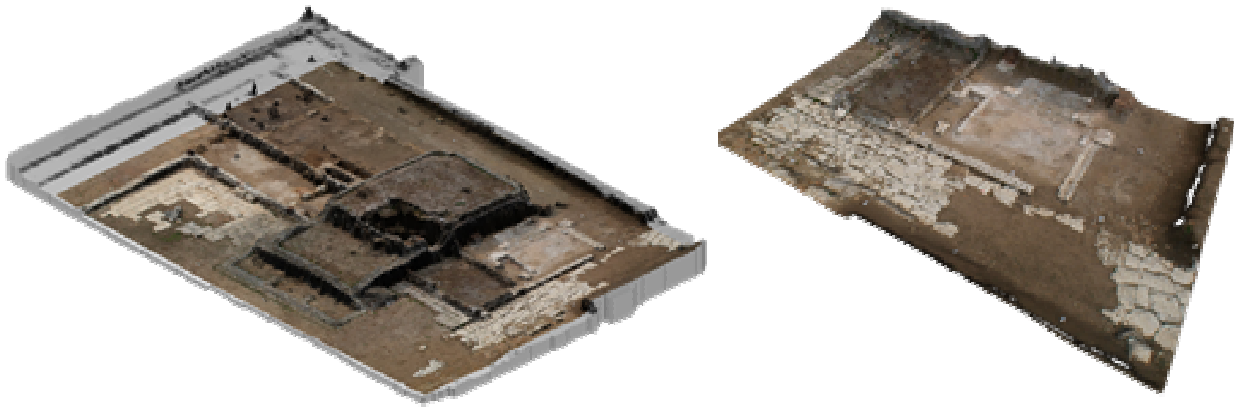


fig. 8 Viste del modello di una parte del Foro (Tempio C e fontana) mappati con l'ortofoto in scala 1:50. Le immagini utilizzate sono state acquisite da pallone per garantire una alta risoluzione anche per gli elementi a terra e piani orizzontali dei crolli.

Allo stesso modo il rapporto tra incertezza e semplificazione va indagato sulla componente raster per poi valutare in quale dei due aspetti è permessa la maggior semplificazione.

Alla fine risulta fondamentale individuare dei criteri omogenei per il cambio di scala, ma anche l'imposizione di vincoli che ne limitino l'applicabilità (o almeno degli avvertimenti che indichino quale è il range di scala per il quale un modello è stato costruito).

Sulla base di queste considerazioni, ci si è concentrati in particolare sulle possibili rappresentazioni 3d dell'anfiteatro.

A partire dai dati laser sono stati realizzati:

- un modello per superfici dell'intero monumento con una risoluzione di 2 cm, corrispondente al DTM alla base dell'ortofoto in scala 1:100. La superficie è stata quindi texturizzata con l'ortofoto stessa. Questo ha valore come documentazione generale dell'anfiteatro
- dei modelli per superfici di alcune parti (in corrispondenza delle scale) con una risoluzione maggiore raster (le immagini sono quelle acquisite con il sistema integrato Riegl + Nikon D100) e una mesh fortemente lisciata per migliorare la visualizzazione;
- un modello per superfici dell'esistente con la stessa risoluzione geometrica del precedente e texturizzato, per le pareti in elevazione, con i raddrizzamenti in scala 1:20 e con parti dell'ortofoto 1:50 per le aree di crollo. Quest'ultimo modello verrà integrato in elevazione con un modello solido costruito sulla base delle descrizione geometrica fornita dal rilievo (pianta) e sulla base di studi svolti sul tipo architettonico e in riferimento all'analisi geometrica di casi esemplari simili.

Le prospettive future riguardano l'automazione del trattamento delle nuvole per arrivare a modelli di superfici parametriche (nurbs) che superino i modelli per triangolazione e a elementi finiti che spesso risultano inutilmente pesanti e troppo semplificati rispetto alla realtà.

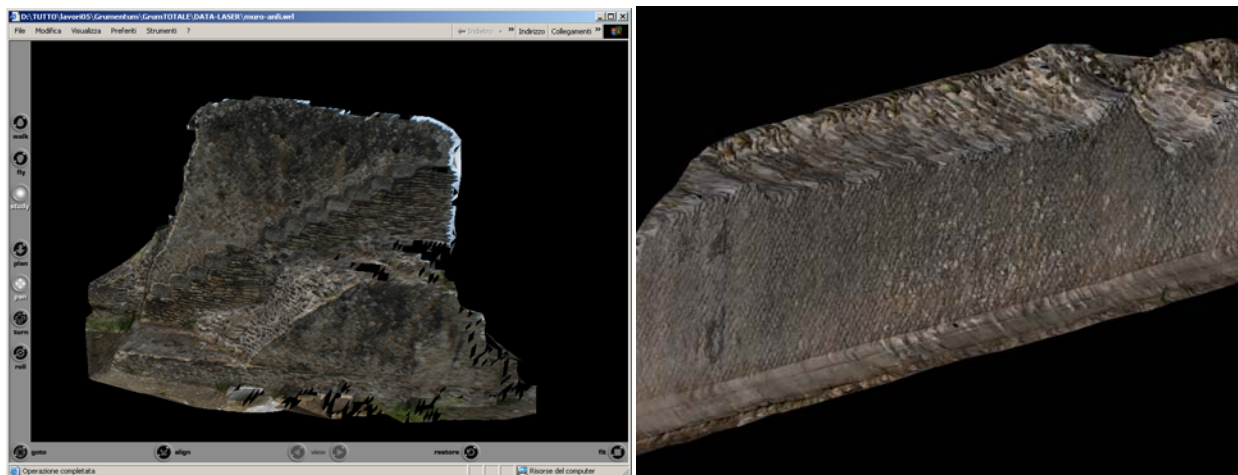


fig. 9 Alcuni dettagli del modello per superfici texturizzate con le immagini del sistema integrato Riegl. I modelli sono stati esportati in formato wrml per essere esplorati interattivamente.

## Bibliografia

- F. Guerra, C. Balletti, A. Adami, *3D multiresolution representations in archaeological sites*, in Proceeding of CIPA 2005 XX International Symposium "International cooperation to save the world's cultural heritage", Torino, 26 settembre – 01 ottobre 2005.
- C. Balletti, F. Guerra, J. Riegl, N. Studnicka, *Practical comparative evaluation of an integrated hybrid sensor based on photogrammetry and laser scanning for architectural representation*, in ISPRS, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing", Commission V, ISPRS XX Congress, Istanbul, Turchia, 12-23 luglio 2004.
- G. Guidi, J.A. Beraldin, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Dall'oggetto fisico al suo calco digitale*, Edizioni Poli.Design, Milano, 2004.