

Integrazione di tecnologie 3d multiscala per la conoscenza, l'interpretazione e la diffusione di un sito archeologico

Caterina Balletti, Francesco Guerra, Luca Pilot

Università IUAV di Venezia – laboratorio di fotogrammetria – Circe
s. croce 1624, 30125 Venezia

balletti@iuav.it, guerra2@iuav.it, pilot@iuav.it

Nell'articolo si descrivono le recenti attività di rilievo del sito archeologico di Grumentum in Basilicata, svolte all'interno del progetto del PRIN04, delle tecniche studiate e applicate per realizzare modelli 3D per la rappresentazione dell'area archeologica con le sue emergenze architettoniche. 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. I moderni metodi di acquisizione e modellazione tridimensionale consentono infatti di rappresentare un oggetto attraverso un modello digitale che coniuga le potenzialità visuali delle immagini (normalmente impiegate per la documentazione) alla precisione del rilievo diventando contemporaneamente supporto sia per la visualizzazione che per la valutazione metrica di un qualsiasi manufatto di interesse storico-artistico, aprendo nuove potenzialità di fruizione, catalogazione e studio di beni culturali.

All'interno della ricerca ci si è soffermati in particolare sull'integrazione dei diversi metodi e strumenti utilizzabili attualmente nel rilievo, integrazione che determina e indirizza non solo le fasi di acquisizione ma anche quelle di restituzione: si è voluto predisporre un apparato conoscitivo appropriato, ricorrendo all'uso integrato di laser scanner 3D, tecniche di fotogrammetria digitale e gps, al fine di ottenere un modello computerizzato tridimensionale.

The paper describes the survey of the roman town of Grumentum (Basilicata) as a case study of the research (PRIN04) on the integration of new technologies to obtain 3D representations of the archeological area and its architectures. Survey has a fundamental role of documentation of the currently status (geometrical model) and of support of different analyses. New opportunities for an integrated management of data are given by multiresolution models, that can be employed for different scale of representation. The latest acquisition methods and modelling allow to represent objects by a digital model where visual potentialities of images (usually exploited for documentation) are joined to survey's accuracy, opening new possibilities of fruition, cataloguing and study of cultural heritage.

In the research, authors wanted 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.

Il 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”* (PRIN04, coordinatore nazionale prof. Carlo Monti), ora in fase di conclusione, si è posto l'obiettivo principale di esplorare le possibilità di rilievo e rappresentazione multiscala, utilizzando in modo integrato laser-scanning e fotogrammetria, nella zona di

sovrapposizione disciplinare tra architettura e archeologia. La scelta del campo di applicazione è dovuta alla considerazione che spesso i luoghi e i monumenti vengono studiati sia dagli architetti che dagli archeologi ma con modalità e finalità a volte differenti.

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).

L'unità di ricerca veneziana ha voluto studiare modelli 3D con superfici mappate per la rappresentazione di un'area archeologica con le sue emergenze architettoniche, sia come registrazione dello stato di fatto (modello geometrico) sia come supporto delle analisi che vari operatori possono realizzare cercando inoltre di individuare delle linee guida per il rilievo finalizzato alla realizzazione di modelli multiscala di siti archeologici, in cui sia possibile il passaggio dalla rappresentazione dell'intero sito, a quella dei singoli monumenti, a quella dei particolari.

Risulta evidente l'importanza della georeferenziazione, risolvibile nell'inserimento di sistemi locali in sistemi “meno locali” dove il “localismo” non è dato da differenti sistemi di coordinate ma da una differente incertezza delle coordinate, in funzione delle possibili risoluzioni del modello di ogni determinato oggetto. Si è trattato quindi di trovare il modo di gestire in modo unitario oggetti che contengono altri oggetti, rispettando la tradizione e i canoni della rappresentazione architettonica e archeologica.

A tale fine si è investigato il rapporto tra *incertezza* del modello, 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.

La ricerca è stata organizzata secondo le fasi sotto elencate:

1. Studio delle procedure di rilevamento con integrazione laser-scanning e fotogrammetria nel caso di siti archeologici. Per le parti a terra o scavate, una particolare attenzione è affidata all'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. Mentre per le parti in alzata si è previsto lo studio per l'ottimizzazione delle scansioni e delle prese per il rilievo delle strutture in elevazione presenti nei siti archeologici, modificando e integrando quanto in uso nei rilievi architettonici.
2. Studio dei metodi per l'integrazione dei rilievi in pianta e alzata al fine di definire un unico sistema 3D. Si tratta nella sostanza 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. In questa fase il punto focale è il mantenimento delle caratteristiche metriche dei rilievi alle diverse scale nominali.
3. 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.
4. Studio di passaggi di scala dei singoli modelli (sito, architetture, particolari) attraverso semplificazioni basate sulla selezione e attivazione di informazioni geometriche proprie delle diverse scale nominali.

Le procedure individuate sono state applicate alla città romana di Grumentum, sito archeologico che si presta come caso applicativo degli studi svolti, in quanto è attualmente oggetto di una campagna di scavi coordinata dall'Università di Verona.

Georeferenziazione e individuazione di invarianti multiscala

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 GPS, divenuto negli ultimi anni uno strumento di **base di un grande numero di esperienze**, legate soprattutto al campo archeologico, e quello tradizionale topografico da terra, hanno lo scopo quindi non solo di definire il sistema di riferimento globale 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**.

I punti di appoggio al rilievo fotogrammetrico sono stati rilevati sia con misure topografiche (Leica TCR1103 e TCRM 1103) da terra che GPS. Il rilievo GPS è stato realizzato con una sessione lunga (modalità statica) per la determinazione di coordinate assolute dei punti di rete principale, mentre per la determinazione di punti naturali o target per l'appoggio fotogrammetrico si è acquisito in modalità RTK.

Integrazione laser scanner - fotogrammetria

Dalle esperienze pubblicate in letteratura, nelle applicazioni laser scanning terrestri non si è ancora assistito ad una corretta pianificazione del rilievo laser scanning basato su capitoli. Alla evidente potenzialità descrittiva del dato rilevato e alla apparente semplicità nella fase di acquisizione, si contrappone una evidente difficoltà nella gestione e nell'elaborazione dei dati raccolti dovuta in parte al modo con cui vengono fatte le misure (dati numerosi non sempre gestiti in modo logico e funzionale dello scopo del rilievo) in parte alla ancora attuale incapacità dei software di offrire soluzioni affidabili (Peretti et al., 2006).

Dato il sempre più frequente inserimento di questa tecnica di rilievo in numerosi bandi nel settore di beni architettonici o archeologici, risulta dunque necessario fissare alcune regole che possano guidare la corretta progettazione ed esecuzione di un rilievo laser scanning in considerazione sia della costruzione di un modello geometrico da cui estrarre rappresentazioni utili del rilevato, sia delle potenzialità e dei limiti rispetto a diversi casi applicativi (valutando le integrazioni con metodi tradizionali).

Sulla base delle esperienze svolte si possono già fissare alcune indicazioni utili per individuare un protocollo di specifiche di rilievo e modellazione. Innanzitutto si deve partire dalla considerazione generale (valida anche per gli altri metodi già consolidati) che non esiste un rilievo "indifferente", ma che ogni oggetto ha delle caratteristiche proprie e rispetto a queste si devono scegliere gli strumenti e i metodi di rilievo e di rappresentazione atti ad esprimere al meglio la sua conoscenza: il modello dell'oggetto dovrà rispondere in termini di precisione e dettaglio ai requisiti necessari alle varie scale di rappresentazione. Nel caso del rilievo di un sito archeologico si dovrà rispondere inoltre ad una richiesta di rappresentazione multiscala.

Per il sito di Grumentum le scansioni sono state progettate in funzione di elaborati che potessero risultare più utili come strumenti di analisi per gli archeologi: profili delle aree di scavo, ortofoto a diverse scale per l'inquadratura generale e per il dettaglio dei monumenti, modello 3d e reintegrazione dell'immagine (ricostruzione virtuale di architetture scomparse) di alcuni monumenti della città romana.

La numerosità dei punti di stazione e loro posizione, e quindi la distanza di acquisizione, il passo di scansione influenzano la densità delle nuvole di punti, dato fondamentale nella definizione della precisione da raggiungere. Empiricamente si può quantificare un valore minimo di densità analogamente alla precisione della scala di rappresentazione (0.2mm moltiplicato denominatore del rapporto di riduzione). Questo valore ci permette di fissare a priori uno schema delle acquisizioni, in maniera del tutto simile al progetto di un rilievo fotogrammetrico, considerando non solo le sovrapposizioni tra scansioni per assicurare un buon allineamento (operazione supportata dal rilievo topografico) ma anche una distribuzione "pseudo-regolare" dei punti: il modello finale (un DSM da utilizzare come base per qualsiasi elaborazione, dall'estrazione dei profili, alle ortofoto, al modello 3D) è conseguenza della precisione dello strumento e della riduzione delle zone d'ombra.

Lo strumento utilizzato è il modello LMS-Z360i della Riegl integrato con camera digitale Nikon D100, 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. La rumorosità dello strumento ($\pm 1\text{cm}$ nella determinazione della distanza) è sicuramente compensata dalla ridondanza dei dati che permette 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.

Per ottenere un DEM denso per le ortofoto e dei modelli sufficientemente dettagliati dei monumenti del sito, si sono eseguite in totale 17 scansioni in modalità overview (angolo di ricoprimento: 360° ; passo 0.12°) e dettagliata (finestra di scansione ridotta con passo 0.05°) 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.

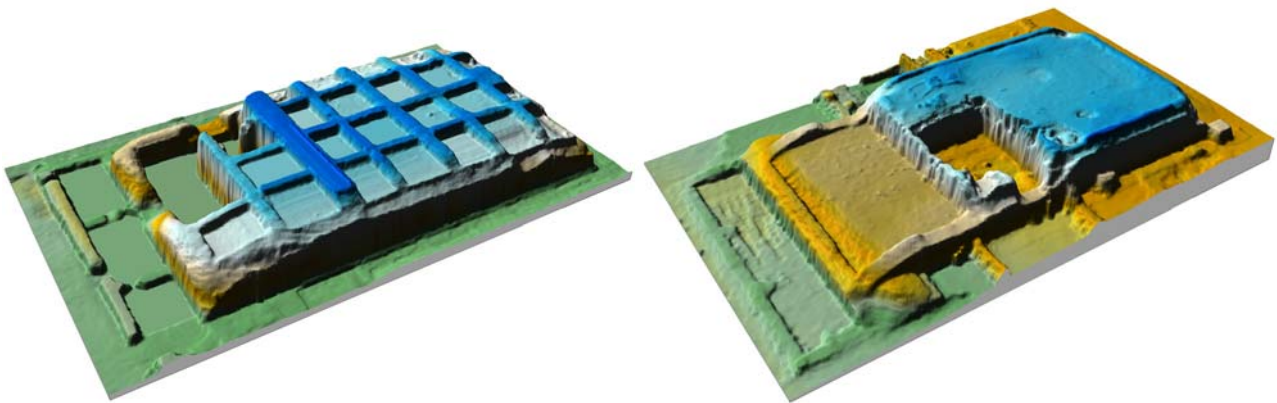


fig.1 DEM ottenuto dai dati laser scanning per la realizzazione di ortofoto dei monumenti del foro alla scala 1:50

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.

E' noto come 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.

In particolare l'utilizzo di ortofoto o di fotopiani è diventato comune, in particolare in campo archeologico, proprio per la possibilità di offrire degli strumenti di analisi non solo metrica ma anche "materica": la vista dall'alto con la qualità di un'immagine fotografica ad alta risoluzione permette di leggere ciò che da terra non si vede. Soprattutto nel caso di un rilievo archeologico

siamo costretti ad abbandonare quei riferimenti preferenziali che normalmente usiamo in architettura (direzione verticale e piani orizzontali che corrispondono agli schemi costruttivi architettonici): non ci sono più architetture ma frammenti di architettura che molto spesso risultano essere in parte nascosti da strati di terra. La lettura dall'alto aiuta la comprensione della composizione architettonica di un luogo.

Nel caso di Grumentum, la fotogrammetria ha avuto il compito di fornire gli elaborati su cui basare la lettura multisacala "sito-monumento-traccia". La risoluzione delle immagini doveva quindi assicurare una precisione non solo metrica ma anche descrittiva a più livelli di dettaglio e per questo si è optato per eseguire delle riprese fotogrammetriche "non convenzionali". Come si è visto anche in altre esperienze di rilievo di luoghi archeologici, la ripresa da aereo è spesso sostituita da riprese fatte da elicottero, pallone, o altri dispositivi di elevazione, in considerazione delle dimensioni dell'area da ricoprire e delle condizioni ambientali. All'interno delle ricerche si è pensato di studiare l'utilizzo di palloni frenati per l'esecuzione di riprese fotogrammetriche con camere digitali calibrate ad alta risoluzione, in quanto risulta essere uno dei metodi sicuramente meno invasivi e più controllabile. Il sistema era composto da un aerostato a fuso sostenuto a elio, vincolato con dei cavi per il controllo da terra e un sistema radiocontrollato per l'acquisizione delle immagini.



fig. 2 la fotogrammetria da pallone: a sinistra, il sistema di ancoraggio della camera; a destra, dettaglio di una strisciata sull'anfiteatro

Al pallone è stata collegata una piattaforma orientabile per la camera digitale, una Fuji S3 (12 Mpixel) con ottiche 50 e 20mm calibrate, su cui è stata installata anche una telecamera per la trasmissione a terra delle immagini corrispondenti agli scatti eseguiti. Vista l'estensione delle aree (foro e anfiteatro) il volo è stato progettato per ottenere delle immagini in scala 1:50-1:100. I limiti del sistema sono legati fortemente alle condizioni di vento in cui ci si trova ad operare, non tanto per la definizione della traiettoria da seguire per ottenere delle strisciate quanto per la quota di volo: si era pensato di effettuare le riprese da quote variabili da 50m a 20m per avere delle risoluzioni diverse, ma la quota massima di volo è stata attorno ai 30m per una maggiore stabilità e controllo del pallone.

Nella seconda campagna di misure (agosto 2006) sono state eseguite delle integrazioni con delle riprese dell'area archeologica fatte da piccolo aereo da turismo biposto da una quota di 200m. Nonostante l'aereo non fosse specificatamente attrezzato la fotogrammetria (in quanto si è trattato di un superleggero) è stato comunque possibile realizzare delle strisciate quasi nadirali che hanno proposto il consueto schema di rilievo fotogrammetrico.

Si è così verificato che è possibile ottenere gli elaborati richiesti effettuando una campagna di rilievo "low cost" che oltre al vantaggio sul lato economico ha permesso una grande flessibilità organizzativa. Tale risultato è in buona parte legato all'uso di tecnologie digitali, sia di assunzione che di trattamento dei dati, che permettono una riduzione/semplificazione dell'hardware compensata da un maggiore onere di elaborazione.

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 1:200-1:100 per l'intera area fino ad arrivare alla scala 1:50 per i singoli monumenti.

I problemi principali incontrati sono quelli noti: errori in corrispondenza delle discontinuità (break-lines) e delle zone defilate (aree nascoste). Il primo problema è risolvibile lavorando sul DEM, integrando le alcune zone d'ombra delle scansioni con punti rilevati topograficamente, mentre il secondo usando più immagini orientate per garantire una copertura fotografica il più completa possibile.



fig.3 A sinistra il modello digitale dell'area del foro. A destra, l'ortofoto del foro realizzata con i fotogrammi acquisiti sia da pallone che da aereo per una scala nominale 1:200

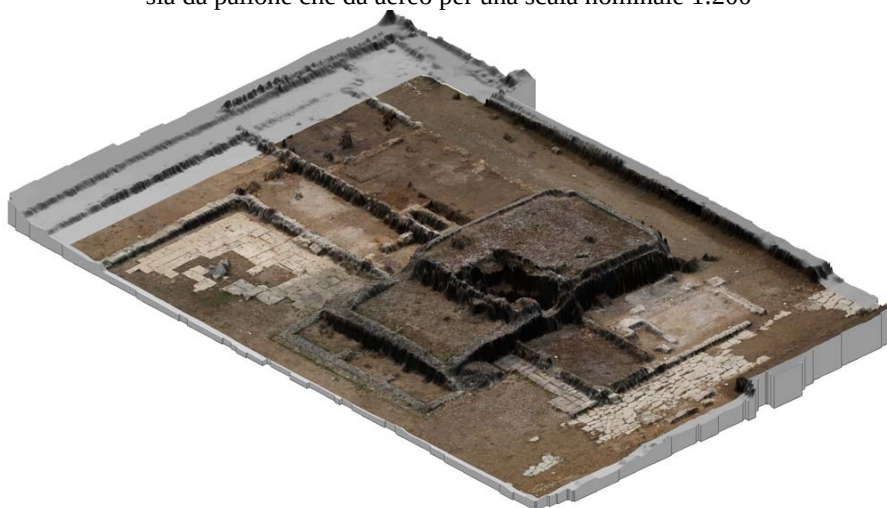


fig.4 Dettaglio del Foro romano: vista assonometria del modello mappato con l'ortofoto alla scala 1:50

I modelli tridimensionali mappati

La modellazione 3D ed il conseguente rendering fotorealistico, occupano un settore decisamente ampio per ciò che riguarda l'applicazione della tecnologia informatica alla risorsa archeologico-storica con la funzione principale di facilitare la comprensione di un luogo e evidenziare le relazioni tra i singoli elementi che lo compongono. 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.

Dato che il legame con la *computer graphic* presenta un legame sempre più stretto con la rappresentazione dell'architettura e visti gli esempi spesso pubblicati, di fronte a modelli 3D spesso 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 approcciare 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, mentre 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.

Nel caso di Grumentum, si voluto fornire sia delle rappresentazioni tridimensionali dello stato attuale del luogo- principalmente attraverso superfici 3d (mesh) ricavate dai dati lidar texturizzate con le immagini calibrate ad alta risoluzione dove la qualità descrittiva e metrica del modello è data dalla somma della componente geometrica e dalla componente raster applicata: 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 - che una ricostruzione 3D dell'immagine originaria (Balletti et al. 2006). In particolare il lavoro di modellazione si è concentrato sull'anfiteatro, monumento che da un punto di vista architettonico permette di affrontare delle analisi geometrico-spaziale più interessanti, basandosi su un approccio tipologico comparativo con altri esempi.

La difficoltà principale è quella di modellare la realtà rilevata con tutte le sue "deviazioni" da una geometria rigida, per mantenere la precisione dei dati di partenza, e su questa "ri-progettare", studiando tutti gli elementi costruttivi e distributivi che caratterizzano questa tipologia architettonica, la forma dell'anfiteatro. A partire dai dati laser (circa 3 milioni di punti) si è ottenuto un modello triangolato (circa 1.85 milioni di facce) utilizzato come base geometrica per l'estrazione di profili fitti da utilizzare nella modellazione solida (la difficoltà maggiore è modellare i crolli della struttura). Il modello solido dello stato attuale è stato quindi texturizzato con le immagini raddrizzate dei fronti verticali e con l'ortofoto per i piani pseudo-orizzontali (le immagini presentano una dimensione del pixel al reale di 1cm). Dato che l'anfiteatro poggia parte della cavea su un declivio, il modello del terreno è stato ottenuto per triangolazione dei dati laser. La mesh, opportunamente processata, è stata poi trasformata in una superficie nurbs modificabile per assicurare un livello di smussatezza e continuità tra le patch che in un DTM a maglia non si può avere. La geometria nurbs permette inoltre di garantire una continuità e congruenza geometrica con il modello della parte architettonica.

In base al rilievo, agli studi svolti sugli anfiteatri appartenenti allo stesso periodo (come controllo degli elementi costruttivi) e all'analisi geometrica (non va dimenticato che nell'architettura romana le dimensioni erano determinate da proporzioni), si è fatta una ricostruzione filologica dell'anfiteatro che rappresenta sia il recupero della memoria di un luogo (i siti archeologici sono luoghi a molti invisibili!) sia uno strumento di conoscenza e di comunicazione che può essere impiegato in diversi settori scientifici. Inoltre la rappresentazione tridimensionale, intesa come

applicazione della computer graphic, risponde fortemente ad una richiesta sempre più pressante da chi si occupa di archeologia.

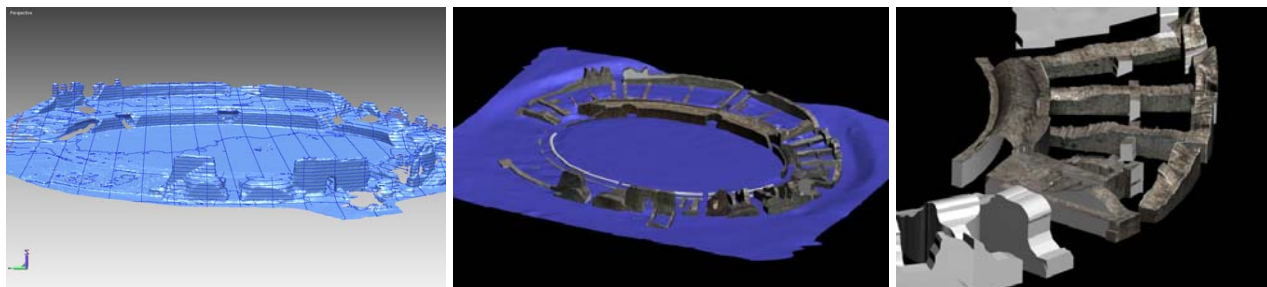


fig.5 Mesh dell'anfiteatro (a sinistra) da cui si sono estratti i profili per la costruzione del modello solido mappato

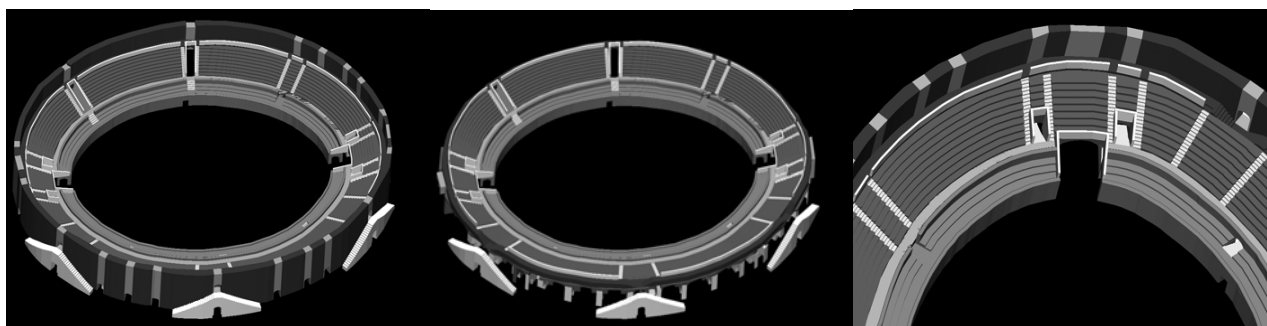


fig. 6 Ricostruzione 3d dell'anfiteatro

Le attuali tecnologie della geomatica, oltre offrire strumenti di rilievo interessanti nel settore dei beni culturali, dovrebbero assicurare un maggior rigore scientifico nel processo di conoscenza, soprattutto per quanto riguarda le questioni della rappresentazione: la conoscenza di un'architettura, la ricostruzione di un luogo richiede sempre dei dati di partenza corretti e rigorosi. Non bisogna lasciarsi affascinare da accattivanti immagini che appartengono più alla computer graphic piuttosto che alle nostre discipline, perdendo quindi quello che è lo scopo di un rilievo. Per questo motivo sembra ancora più urgente la necessità di individuare dei protocolli di specifiche di rilievo e modellazione in funzione delle nuove tecnologie digitali e della loro integrazione con i metodi già collaudati di rilievo, per permettere l'ottimizzazione del processo di conoscenza e documentazione di oggetti e luoghi complessi come possono essere i siti archeologici e le architetture che lo caratterizzano.

Bibliografia

- L. Peretti, C. Porporato, F. Rinaudo, *La tecnica Lidar e la modellazione 3D di ambienti complessi. Considerazioni operative*, in atti del Convegno Nazionale Sifet "le nuove frontiere della rappresentazione 3D", Taranto, 14-16 giugno 2006.
- C. Balletti, F. Guerra, *Il rilievo per la rappresentazione 3D: la città romana di Grumentum*, in Atti del convegno nazionale SIFET "le nuove frontiere della rappresentazione 3D", Castellaneta Marina, Taranto, 14-16 giugno 2006.
- 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.
- G. Bitelli, *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali*, in atti del 6° convegno Asita "geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale", Perugia, 5-8 novembre 2002.
- G. Guidi, J.A. Beraldin, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Dall'oggetto fisico al suo calco digitale*, Edizioni Poli.Design, Milano, 2004.