

Modelli 3D multiscala per l'architettura e l'archeologia

Caterina Balletti, Francesco Guerra

Università IUAV di Venezia - CIRCE – laboratorio di fotogrammetria, S. Croce 1624, 30135 Venezia
balletti@iuav.it, guerra2@iuav.it.

Le più recenti attività di ricerca svolte presso il Laboratorio di Fotogrammetria del CIRCE si propongono di esplorare le possibilità del rilievo e della rappresentazione che utilizzi in modo integrato laser-scanning e fotogrammetria, nella zona di sovrapposizione disciplinare tra architettura e archeologia.

Spesso infatti alcune aree, e i monumenti che su queste insistono, 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).

Tra queste rappresentazioni i modelli tridimensionali con superfici mappate sono sicuramente di grande versatilità. Le mappature possono essere semplice integrazione del modello geometrico, nel caso di texture fotorealistiche, o il risultato di analisi specifiche.

Nell'articolo si parla delle tecniche studiate per realizzare modelli 3D per la rappresentazione di un'area archeologica con le sue emergenze architettoniche: tale rilievo deve essere sia la registrazione dello stato di fatto (modello geometrico) sia il 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.

Di particolare interesse dal punto di vista tecnico sono le procedure di rilevamento in cui si realizza un modello digitale del sito utilizzando un DEM, i cui dati sono rilevati da terra mediante laser-scanner, e le prese aeree calibrate, effettuate da pallone frenato o da altro mezzo di elevazione.

In the last research activities it's proposed to explore the possibilities of survey and representation, incorporating laser-scanning and photogrammetry techniques into the overlapping area which covers the disciplines of architecture and archaeology.

Frequently, some areas and monuments in work sites are studied by both architects and archaeologists, but with different methods and purposes.

The new digital technologies both rationalise and streamline the survey procedures while also creating new infographic representations that can easily adapt to the various needs of academics and technologists (architects, archaeologists, engineers, restorers, historians).

Of these representations, 3D models with mapped surfaces are surely the most versatile. The mappings can represent a simple integration of the geometric model, as in the case of photorealistic textures, or may be the result of specific analyses.

The paper intends to illustrate the techniques used to study such 3D models for representation of an archaeological area with its architectonic emergences and how to register the present state as well as provide support for the analysis that various technologists can carry out.

The paper demonstrates the positive aspects of realizing a digital model of the site using a DEM, whose data are surveyed from the ground with a laser-scanner and calibrated aerial views, taken by a tethered balloon or other device of elevation.

I recenti sviluppi dei software di modellazione e degli strumenti di rilevamento pongono la necessità di affrontare in modo nuovo e diverso i temi legati all'uso delle nuove tecnologie nel settore del rilievo e della gestione dei dati digitali: sempre più spesso infatti si ricorre a forme di rappresentazione che utilizzano tecniche informatiche e in particolare della computer graphics.

Nella costruzione di un quadro generale sullo stato dell'arte nel settore delle tecnologie per i Beni culturali, necessario per affrontare correttamente i temi in questione, ci si accorge come la linea di confine tra le discipline del rilievo, la rappresentazione e le tecniche informatiche sia sempre più sottile se non confusa, a favore di una crescente integrazione di sistemi di elaborazione e gestione multidisciplinare.

Molte sono le esperienze che testimoniano l'applicazione di tecnologie multimediali ai Beni Culturali con lo scopo di individuare tecniche e metodi nel campo della conservazione e valorizzazione del patrimonio artistico e storico.

Nell'entusiasmo dell'applicazione di metodi sempre più avanzati nel trattamento e nell'elaborazione dei dati, non si può però perdere di vista quelli che sono i fini di un rilievo e i principi su cui la nostra disciplina si fonda.

Metodi di rilievo archeologico e architettonico

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.

Come sopra già indicato le tecniche di rilievo più indicate per i siti archeologici sono quelle della topografia terrestre e satellitare a supporto del laser scanning e fotogrammetria digitale.

I laser-scanner, basati su distanziometri laser a tempo di volo o a triangolazione per oggetti di dimensioni inferiori, si sono dimostrati adatti all'acquisizione di dati tridimensionali (nuvole di punti) di strutture di qualsiasi complessità, in considerazione della loro portata e della precisione che assicurano.

La modalità con cui avvicinarsi all'acquisizione tridimensionale varia a seconda dei casi, ma sempre deve essere chiara, fin dall'inizio, la finalità del modello che si realizza. Nel caso di un rilievo per la verifica geometrica è indispensabile che ci sia una corrispondenza metrica puntuale tra oggetto fisico e modello numerico. L'accuratezza complessiva è data sia dal tipo di strumento impiegato che dallo schema geometrico delle acquisizioni (per evitare zone d'ombra). Nella registrazione delle scansioni si sono dimostrati più efficienti i metodi di georeferenziazione su punti di controllo (rilevati topograficamente) o la triangolazione spaziale, piuttosto che gli allineamenti per concatenamento di nuvola su nuvola che inevitabilmente porta a deformazioni locali del modello complessivo.

Le nuvole, georeferenziate in un unico sistema di riferimento definito dalla topografia, costituiscono un unico set di punti dal quale è possibile ottenere sia le tradizionali rappresentazioni in proiezione ortogonale sia modelli tridimensionali per superfici e, dopo opportune elaborazioni, modelli solidi. In post elaborazione si possono realizzare elaborati quali: modelli poligonali del terreno (DTM) da cui estrarre modelli parametrici che con semplici elaborazioni possono diventare modelli solidi; da questi con facilità si elaborano planimetrie a curve di livello, profili, sezioni, viste 3D, proiezioni assonometriche, prospettive, rendering, ecc.

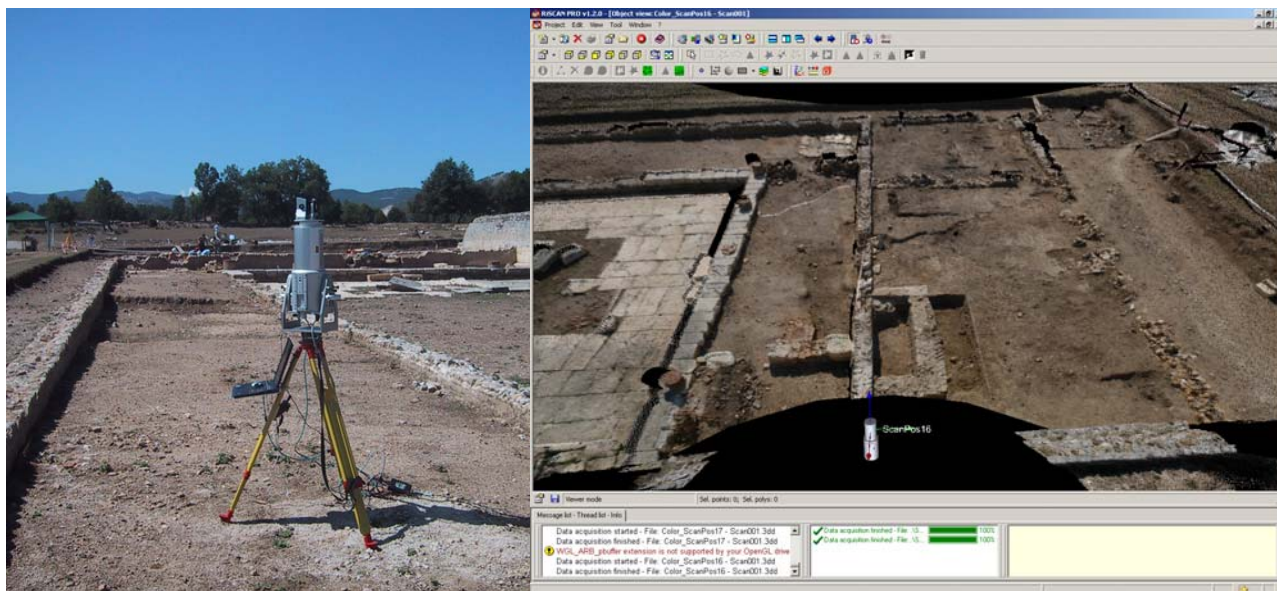


fig.1 Rilievo laser scanning del foro di Grumentum

La fotogrammetria, permette di ottenere, ovviamente con modalità operative diverse che implicano maggior impiego di risorse, gran parte di quanto sopra descritto, in quanto un modello stereoscopico (ovvero una coppia dopo l'orientamento relativo) è assimilabile a una nuvola di punti, con il vantaggio però di aggiungere alle informazioni geometriche informazioni radiometriche ovvero il "colore" dei punti rilevati. Questo risulta di grande utilità nella descrizione dei manufatti e dei fenomeni che su questi devono essere individuati.

L'integrazione tra laser-scanning e fotogrammetria è il metodo di rilevamento oggi più efficiente ed avanzato che garantisce velocità e accuratezza di risultati, abbinando alla velocità di acquisizione del laser scanner la capacità descrittiva delle immagini fotografiche.

La topografia interviene nel rilievo generalmente secondo due modalità: terrestre e satellitare. Essa permette di definire la posizione dei dati metrici acquisiti all'interno di un sistema di riferimento omogeneo che può essere locale, cartografico nazionale (Gauss-Boaga) o internazionale (UTM).

Nel rilevamento archeologico, contrariamente a quello architettonico, mancano i riferimenti geometrici fondamentali, quei riferimenti sicuri (orizzontalità, verticalità, simmetrie, parallelismi) che guidano la produzione di un rilievo. Infatti molte volte non si è più davanti ad architetture ma frammenti di architettura, nel migliore dei casi, dei ruderi.



fig.2 Schema della rete topografica d'inquadramento a terra del sito di Grumentum. Le due aree sono collegate da una rete GPS



fig.3 Viste della superficie 3d texturizzata di un basamento nel foro di Aquileia

Il progetto e l'organizzazione del rilievo in pianta e alzato diventano difficili, e la scelta a priori del metodo di rappresentazione e del piano di proiezione se inopportuna rischia di compromettere la comprensione del manufatto.

Anche la scelta dei segni che rappresentano l'architettura è equivoca: l'interesse dell'architetto e quello dell'archeologo possono essere diversi per formazione culturale, per metodo e per finalità della ricerca. Nel campo dell'archeologia, ad esempio, domina la categoria della tipologia che porta a cercare e individuare similitudini piuttosto che differenze.

Servono perciò nuovi strumenti per la rappresentazione dei dati metrici raccolti, l'uso di metodi più "oggettivi" che permettano al fruitore finale di effettuare la sintesi interpretativa.

Di conseguenza la restituzione dei dati di rilievo, per le caratteristiche dell'oggetto, deve utilizzare diversi metodi di rappresentazione. Di fronte all'articolazione complessa dei luoghi archeologici pur restando fondamentali le proiezioni ortogonali attraverso disegni al tratto, a cui si sono aggiunte

negli ultimi anni le immagini ortorettificate inserite nel disegno, diventano corpo della rappresentazione le elaborazioni tridimensionali che sono realizzabili attraverso l'elaborazione dei dati 3D.

La Multirisoluzione

Una opportunità offerta dai modelli geometrici 3D che deve essere opportunamente investigata, è la possibilità di realizzare dei **modelli multiscala**, ovvero dei modelli che possano essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione.

Le diverse scale di rappresentazione derivano in genere dal rilievo a diversa scala nominale di oggetti che tradizionalmente hanno necessità di diversa definizione di dettaglio come ad esempio l'intero sito archeologico (scale 1:2000, 1:1000, 1:500) o 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).

Se tali oggetti territoriali (sito, architetture, oggetti particolari) devono convivere all'interno di modelli complessi dei quali si cerca una gestione e una conseguente rappresentazione unitaria a diverse scale si dovranno individuare sia delle strategie di rilievo che di integrazione, finalizzate alla multirisoluzione.

La rappresentazione 3D multiscala trova una sua naturale applicazione nel campo dei beni culturali, come supporto alla conoscenza e alla fruizione delle informazioni da parte dell'utente sia esperto che non esperto del settore da applicazione. Al contrario delle classiche proiezioni mangiane, i modelli geometrici sono ricostruzioni tridimensionali della forma dell'oggetto da cui si possono generare viste arbitrarie. Un tipico impiego di questi modelli è nei sistemi di realtà virtuale, dove l'utente può muoversi liberamente attorno all'oggetto o all'interno di esso (nel caso di ambienti). Inoltre, è possibile rappresentare non solo la forma attuale del manufatto, ma anche ipotesi riguardo alla sua forma originale e all'ambiente in cui era collocato: applicazione fondamentale nel settore dell'archeologia.

I modelli 3D trovano applicazione anche nel trattamento e nella rappresentazione digitale di dati ottenuti dall'analisi dei manufatti. Dati eterogenei in formato numerico e georeferenziati possono essere considerati da un punto di vista matematico come una funzione che associa un valore ad ogni punto noto $P=(x,y,z)$ in un dominio tridimensionale fornendo un aiuto alla comprensione e all'analisi dei dati prevalentemente orientato verso utenti esperti del settore come archeologi e restauratori. Come si è detto le tecniche oggi disponibili (laser scanner e fotogrammetria) consentono di eseguire campionamenti molto accurati su un oggetto producendo così griglie di triangoli o di tetraedri molto fitte, ovvero ad *alta risoluzione geometrica*: maggiore è la risoluzione migliore è l'aderenza del modello geometrico alla realtà rappresentata. Essendo costituito da moltissimi tetraedri il modello ad alta risoluzione però comporta problemi di gestione relativamente alla memoria occupata e ai tempi di elaborazione. Può quindi capitare di avere un modello molto accurato, ma di fatto ingestibile e impossibile da esplorare in tempo reale.

La modellazione geometrica tramite modelli poligonali ottenuti da dati laser scanner di aree urbane o parti di territorio, così come la modellazione di piccoli oggetti con alta risoluzione descrittiva, ha messo in evidenza il problema della gestione e rappresentazione delle strutture dati utilizzate per descrivere le geometrie. Infatti la quantità di dati necessaria a memorizzare una complessa struttura geometrica poligonale può facilmente saturare anche la memoria dei più moderni computer.

Questo problema può essere parzialmente risolto mediante una semplificazione che si basa su principio fondamentale: data la complessità di una struttura poligonale ad alta risoluzione, ai fini della percezione dei dettagli geometrici da parte dell'osservatore umano, e in funzione delle caratteristiche di precisione a una data scala nominale, non è affatto necessario che questa struttura sia sempre gestita e rappresentata tutta al suo massimo livello di dettaglio disponibile.

Su questo assunto ha portato allo sviluppo delle tecniche *multirisoluzione*, che consentono di controllare il livello di dettaglio con il quale una struttura geometrica, o le sue sottoparti, sono

rappresentate. Nell'ambito della computer graphics si sono sviluppate tecniche di semplificazione per griglie di triangoli o di tetraedri, che consentono di ridurre selettivamente la risoluzione di una griglia diradando la densità

Vi sono due metodi diversi di implementare tali tecniche (Rossi, Solonia, 2003):

1. La prima si basa sulla gestione in tempo reale di una complessa struttura poligonale da parte di un sistema hardware-software che si occupa di gestire la rappresentazione più opportuna istante per istante. Lo svantaggio di questa tecnica risiede nei limiti intrinseci cui ogni meccanismo hardware deve sottostare in termini di prestazioni massime e nella capacità di controllare il livello di dettaglio da parte del progettista di una struttura geometrica e della sua rappresentazione.

2. Un'altra tecnica consiste nel predisporre una serie di modelli della stessa struttura geometrica con complessità differenti, in funzione di differenti necessità di rappresentazione, che saranno prestabilite dal progettista della struttura geometrica. Il criterio discriminante la scelta del livello di dettaglio da utilizzare è generalmente la distanza tra l'osservatore virtuale della struttura geometrica o parte di essa. Questa tecnica comporta lo svantaggio di dovere realizzare più modelli della stessa struttura, che quindi occupano una maggiore quantità di memoria totale; tuttavia questi modelli sono gestiti in file differenti che sono caricati nella memoria di rappresentazione grafica 3D solo se effettivamente necessari.

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 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 gli studiosi afferenti alle discipline del rilevamento 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.

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.

Agli autori risulta evidente che il tema della multirisoluzione debba essere affrontato a partire dall'individuazione sugli oggetti da rilevare di invarianti rispetto alla scala di rappresentazione secondo una rivisitazione del concetto cartografico della generalizzazione. Fondamentale è la fase di georeferenziazione che potrà essere realizzata mediante il rilievo topografico e GPS di punti di controllo invarianti in più scale di rappresentazione: nella georeferenziazione il punto focale è il mantenimento delle caratteristiche metriche dei rilievi alle diverse scale nominali.

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).



fig.4 Esempio di multirisoluzione di un basamento: triangolazione ottenuta da dati laser scanner e ridotta al 50%



fig.5 Triangolazione ottenuta da dati laser scanner e ridotta al 25%



fig.6 Triangolazione ottenuta da dati laser scanner e ridotta al 10%

Bibliografia

M. Rossi, P.Solonia, *Comunicazione multimediale per i beni culturali*, Addison Wesley, Milano 2003.

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.

C.Balletti, F.Guerra, *Rilievo e archeologia: il nuraghe Santu Antine*, Rivista del Dipartimento del Territorio, Anno VIII, n°3/2000

F. Guerra, Luca Pilot, *Survey and Representation of Archaeological Sites*, in CIPA XVI International Symposium proceedings 1-3 October 1997 - Goteborg, Sweedwn