

# LA MAPPATURA DEL MODELLO 3D DI UNA SUPERFICIE ARCHITETTONICA: PALAZZO BEVILACQUA A BOLOGNA

Laura BARATIN, Simone CURTI, Michele LODI

Facoltà di Scienze Ambientali – University of Urbino – Italy  
Località Crocicchia 61029 – Urbino – Italy  
[laura.baratin@uniurb.it](mailto:laura.baratin@uniurb.it)

## Riassunto

Lo studio svolto si occupa di valutare l'utilizzo della tecnica di *laser scanning* nelle applicazioni legate al recupero edilizio, cercando di mettere a fuoco i vantaggi e le problematiche ancora irrisolte.

La facciata di Palazzo Bevilacqua, un edificio quattrocentesco situato all'interno del centro storico della città di Bologna, è stata utilizzata per la sperimentazione essendo costituita completamente di pietra arenaria, materiale particolarmente soggetto all'aggressione da parte degli agenti atmosferici ed inquinanti con tendenza a polverizzarsi sotto la crosta nera gessosa.

Obiettivo di questo lavoro è la costruzione di modelli superficiali mappati in modo da facilitare gli operatori del restauro ad ottenere con relativa semplicità una mappatura tridimensionale del degrado nonché una prima analisi del materiale di costruzione.

Si è realizzato inoltre un confronto tra i metodi ed i procedimenti di mappatura in diversi ambienti, partendo dallo stesso dato in termini di nuvole di punti e da dati omogenei per quanto riguarda le elaborazioni di *post-processing*.

Sono stati esaminati differenti programmi che permettono la mappatura di modelli tridimensionali attraverso l'utilizzo di immagini digitali; alcuni di questi impiegano il metodo del riconoscimento di punti omologhi tra il modello e l'immagine, altri creano materiali mappati applicando le immagini in aree selezionate del modello attraverso vari sistemi di coordinate; altri ancora hanno la necessità di partire dalla nuvola di punti grezza per poi sviluppare al loro interno tutto il procedimento di *post-processing* fino a ottenere la mappatura desiderata.

## Abstract

This study gives evidences of practical usage of the laser scanning techniques applied to building restoration, trying to show both advantages and problems still unsolved.

The facade of Bevilacqua Palace, a fourteenth century building located in the city centre of Bologna, has been used for application tests. The facade is completely built with sandstone, a material particularly weathered by atmospheric agents and environmental pollution.

Scope of the work is to build up surface models mapped in a way to help restoration operators to easily get a 3D mapping of the material degradation and a preliminary analysis of material conditions.

A comparison has been carried out with different mapping procedures, using same starting data (in terms of clouds of points) and homogeneous data regarding post-processing elaborations.

Different programs for 3D mapping models using digital images have been analysed. Some of those use method of recognising corresponding points between the model and the image, other create mapped objects using images in selected areas of the model with various systems of coordinates, other programs need to start from a preliminary cloud of points and then developing a post-processing internal procedure they arrive to the final mapping.

## Introduzione

Il rilievo eseguito con tecniche di laser scanning sta introducendo nel settore del rilievo tridimensionale numerosi elementi d'innovazione, sia sotto il profilo dell'acquisizione dei dati, sia per ciò che concerne gli elementi grafici, rappresentativi e multimediali che scaturiscono dalle fasi di elaborazione e trattamento delle nuvole di punti.

La quantità enorme di dati registrati dallo strumento consente, infatti, di parlare di veri e propri *database* tridimensionali dell'oggetto rilevato. In alcuni casi queste banche dati 3D possono apparire addirittura eccessive in termini di quantità di punti acquisiti, ma devono essere considerati complessivamente ed analizzati in tutto il loro contenuto come una specie di fermo immagine ad alta definizione dell'oggetto in un determinato istante, come base di conoscenza che può essere archiviata per futuri utilizzi.

Partendo da questi *database* di coordinate tridimensionali, ai quali si aggiungono nei vari casi altri dati, come ad esempio quelli concernenti i valori cromatici dell'immagine (RGB) o quelli della riflettanza, è possibile generare elaborati grafici tridimensionali con caratteristiche certamente innovative.

Naturalmente uno degli elementi di novità, rispetto al passato, è la facilità a cui si accede al dato tridimensionale, ottenendo già durante le fasi di rilievo sul campo la possibilità di trasformare il complesso di punti rilevati in un sistema di superfici triangolate, che possono essere generate utilizzando anche soltanto una quantità ridotta dei dati acquisiti dallo strumento.

Il poter avere le superfici triangolate dell'oggetto, anche di dimensioni consistenti, in tempi relativamente brevi, consente di poterle usare non più come un punto d'arrivo per il rilievo tridimensionale, ma come un semplice passaggio che porta successivamente alla generazione di prodotti grafici tridimensionali di nuova concezione.

Tra le applicazioni che possono scaturire in prima analisi dalle superfici triangolate, vi è senza dubbio la mappatura delle superfici con immagini digitali, tema nodale di questo lavoro affiancato ad alcune considerazioni di carattere generale, ad alcuni approfondimenti sui *software* che permettono questo tipo di operazioni.

### **Mappare una superficie: generalità**

Con il termine mappatura si intende l'operazione che consente di applicare un'immagine digitale ad una superficie triangolata in modo da ottenere una perfetta adesione e corrispondenza tra gli elementi messi in evidenza dai colori assunti dai pixel dell'immagine e gli elementi morfologici messi in evidenza dalla disposizione dei triangoli nello spazio.



*Figura 1- Un elemento in pietra del sito archeologico di Ggantija nell'isola di Gozo a Malta, mappato dalla corrispondente immagine digitale*

Il risultato di questa operazione, che avviene via *software*, porta ad un modello tridimensionale, quindi sempre "navigabile", che ingloba e adattata su di sé, l'immagine digitale, con molteplici prerogative interessanti.

Da un lato a seguito della mappatura, si ha la possibilità di percepire contemporaneamente le

caratteristiche morfologiche ed i materiali che costituiscono l'oggetto: questo risultato è certamente importante e fornisce maggiori elementi di conoscenza rispetto all'osservazione combinata della superficie (non mappata) e della semplice fotografia. Si ottiene, infatti, un sistema tridimensionale che l'utente può esplorare "in tempo reale", muovere a suo piacimento seguendo gli elementi in maniera tridimensionale senza perdere le informazioni che il colore e l'immagine apportano; informazioni sulla qualità dell'elemento, sul livello di degrado e sulla sua tipologia, sui cambi di materiale utilizzato, sempre senza perdere il rapporto con la tridimensionalità dell'oggetto.

Dall'altro lato si tratta di uno strumento molto utile per procedere alla realizzazione di altre applicazioni, come ad esempio animazioni e strumenti di video *editing* che possono essere costruite proprio dal modello mappato.

### **Elementi fondamentali: la superficie e l'immagine.**

La superficie triangolata, come accennato brevemente in precedenza, può essere generata partendo dal complesso dei punti rilevati dallo strumento laser attraverso alcuni tipi differenti di calcolo ed il numero dei triangoli generati può in qualche modo essere controllato ed ottimizzato variando la quantità di punti del *database* tridimensionale che si prendono in considerazione.

Queste scelte rivestono un'importanza decisiva, per la buona riuscita dell'operazione di mappatura, anche se possono sembrare elementi estranei alla procedura esaminata. La post elaborazione dei dati provenienti da laser scanner si confronta in ogni sua fase con la ricerca di un equilibrio che tenga conto degli scopi che si debbono raggiungere nel caso specifico, dell'*hardware* di cui si è in possesso e dell'utente che dovrà ricevere l'elemento grafico o geometrico elaborato.

E' chiaro che la soluzione ideale sarebbe quella di generare una superficie partendo da tutti i punti rilevati dallo scanner e mapparla con l'immagine a più alta definizione di cui si è in possesso, ma, almeno nella pratica attuale, questo è probabilmente possibile soltanto per oggetti (e quindi *file*) di dimensioni ridotte, a causa di problemi di inadeguatezza dell'*hardware*. Nella maggior parte dei casi è necessario quindi discretizzare, ossia ridurre il numero di punti di partenza, e generare una superficie che non porta con sé tutti i dettagli morfologici rilevati, e quindi il modello approssimato ottenuto perde in termini di precisione. Questo teoricamente può rendere problematica la realizzazione della mappatura, avendo maggiori difficoltà nel riconoscere con precisione la morfologia dell'oggetto (Beraldin, Picard, ... 2002). Per ciò che riguarda la perdita di precisione, occorre osservare che nella maggior parte dei casi le applicazioni 3D che richiedono una mappatura sono orientate maggiormente ad un prodotto grafico e meno ad un'esigenza di misurabilità del modello, che è comunque sempre disponibile nella sua forma completa sotto forma di nuvole di punti. In sintesi, si può affermare che la riuscita di un progetto di mappatura di superfici, soprattutto se ampie ed articolate, non può prescindere da un'attenta valutazione di tutti i fattori accennati in precedenza, cercando un giusto equilibrio caso per caso.

Naturalmente anche la qualità della foto digitale da utilizzare per l'operazione di mappatura riveste un ruolo importante per un buon risultato finale. A questo proposito sembra superfluo dilungarsi sulle caratteristiche che dovrebbero avere le immagini per la mappatura di superfici, sulla necessità di limitare le ombre, di eseguire alcune operazioni di *editing* dell'immagine per migliorarne le caratteristiche di luminosità, colore e contrasto. Può essere utile, invece, osservare che soprattutto nei casi di rilievi *laser scanner* complessi e quindi di mappature su superfici molto articolate per le quali si rende necessario un set di immagini per ogni oggetto da mappare, una immagine scattata dalla posizione di scansione (alcuni laser hanno già una camera solidale con lo strumento) costituisce sempre un elemento indispensabile ed imprescindibile anche se si renderà necessaria in seguito l'integrazione con altre immagini.

### **Modalità di mappatura**

In questo lavoro sono state prese in considerazione due modalità di applicazione dell'immagine digitale sulla superficie triangolata: il primo metodo consente di sovrapporre sulla superficie triangolata l'immagine digitale scalandola opportunamente in modo da adeguarla alla superficie, il

secondo metodo consente di riconoscere all'interno delle immagini e delle superfici gli stessi elementi imponendo all'immagine di adattarsi al modello superficiale.

Il portale di Palazzo Sanuti-Bevilacqua a Bologna è stato mappato utilizzando tre diversi software con diverse modalità di mappatura: 3D Studio Max, JRC Reconstructor e INUS Rapidform, per verificarne le potenzialità, i requisiti e i risultati nell'ottica di un prodotto finale 3D utile ai fini del restauro (Baratin, Curti, ... 2005).



*Figura 2 - L'immagine del portale di Palazzo Sanuti-Bevilacqua, utilizzata per la mappatura*

La superficie che è stata utilizzata proviene da un rilievo eseguito con il *laser scanner* a tempo di volo Leica HDS 2500, con un intervallo tra punto e punto di circa 1 cm. Dalla nuvola di punti non decimata è stata generata una superficie triangolata alla quale è stata applicata una riduzione del numero dei triangoli pari circa al 20% utilizzando un metodo che consente di eliminare più triangoli nelle zone di minore complessità, riducendo in questo modo l'impatto della decimazione sulla qualità della superficie.

La compatibilità della superficie tra i software utilizzati è garantita dal formato .dxf, tranne per il software JRC Reconstructor, che ha richiesto di importare direttamente la nuvola di punti per generare una superficie. Naturalmente la superficie generata doveva avere le stesse caratteristiche di quella definita in precedenza ed utilizzata nelle prove eseguite con gli altri due software.

Il primo esempio è stato realizzato utilizzando 3D Studio Max; un software che non ha delle caratteristiche specifiche per la mappatura di superfici provenienti da rilievo *laser scanner*. Questo software, di largo uso commerciale, permette di realizzare la mappatura importando l'immagine digitale ed agendo sui modificatori che controllano la scalatura in modo da ottenere la perfetta corrispondenza tra superficie ed immagine.



*Figura 3 - Il modello mappato del portale di Palazzo Bevilacqua*

Il secondo esempio è stato realizzato utilizzando il software JRC Reconstructor; si tratta di un prodotto molto più specifico, con il quale è possibile realizzare, l'intero ciclo di elaborazione di dati provenienti da *laser scanner*, dalla nuvola di punti fino al modello triangolato mappato. La caratteristica del software è quella di prediligere in particolare che l'intero nucleo di operazioni

principali di *post-processing* sia svolto interamente al suo interno: per questo motivo si è preferito portare all'interno del software la nuvola di punti e generare nell'ambiente interno la superficie triangolata.

Per quel che riguarda la mappatura, Reconstructor utilizza il metodo di riconoscimento di punti omologhi tra superficie ed immagine digitale: è necessario quindi selezionare una serie di punti sull'immagine ed i corrispondenti luoghi sulla superficie triangolata.

Nella figura seguente si può vedere un'immagine che si riferisce alla fase di selezione dei punti omologhi.

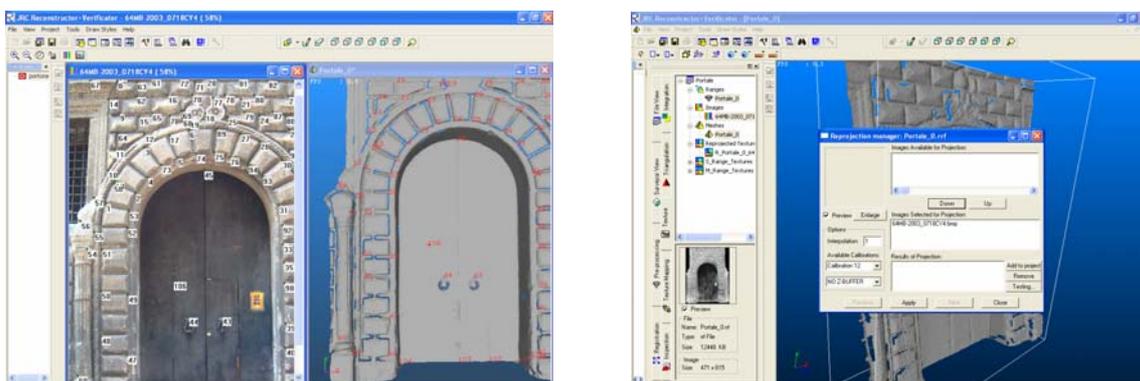


Figura 4 - L'ambiente di JRC Reconstructor durante la mappatura e in dettaglio con la finestra di Reprojection manager

Al termine della selezione dei punti il *software* determina una riproiezione dell'immagine secondo i parametri specificati. E' possibile realizzare ed immagazzinare più immagini riproiettate ed "applicarle" secondo le necessità alla superficie. Il software consente, come ulteriore elemento che lo differenzia dagli altri, di inserire i dati della camera fotografica utilizzata.



Figura 5 - Superficie mappata ottenuta con il software JRC Reconstructor.

Il terzo esempio è stato realizzato con INUS Rapidform. Si tratta di un altro *software* specifico per l'elaborazione di dati provenienti da *laser scanner*, considerato il più versatile in commercio attualmente. Consente di importare i dati di diversi formati grafici provenienti da differenti strumenti laser e in fase di elaborazione ne permette un trattamento completo, paragonabile a Reconstructor. Il *software* ha un approccio semplice ed intuitivo, soprattutto per chi ha una certa confidenza con gli ambienti CAD, e dà la possibilità di completare mappature anche molto complesse. Infatti è possibile suddividere le superfici in modo da poterle mappare con immagini differenti per poi ricomporre il modello in un'unica superficie.

Le operazioni di mappatura si svolgono con le stesse modalità di JRC Reconstructor, selezionando in pratica punti sulla foto e sulla superficie, anche se da un alto può sembrare un po' carente nella gestione della visualizzazione dell'immagine digitale e dall'altro necessita di un numero elevato di punti omologhi per produrre delle superfici mappate di buona qualità.

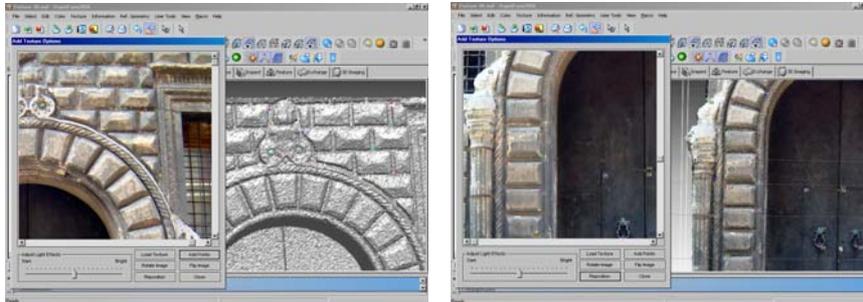


Figura 6 - L'ambiente di INUS Rapidform durante la mappatura consentendo di modificarla in modo flessibile anche dopo averla appena realizzata

Il software INUS Rapidform consente dopo una prima mappatura della superficie, se il risultato non è soddisfacente, di modificarla sostituendo, spostando o eliminando alcuni punti già selezionati in precedenza, fino al raggiungimento del prodotto desiderato conservando un'elevata flessibilità operativa.

### **Conclusioni**

Il laser scanner costituisce certamente una tecnologia adatta ad essere utilizzata diffusamente nel rilievo e nella realizzazione di progetti di restauro.

Lo studio su Palazzo Bevilacqua ha messo in evidenza la possibilità di raggiungere gli obiettivi grafici consolidati nel campo dell'architettura con un elevato grado di precisione e di poter introdurre un linguaggio grafico innovativo, attraverso l'adozione della nuvola di punti come elemento di rappresentazione e delle mappature. Il poter accedere molto facilmente ed in modo repentino al modello tridimensionale, generando in tempi ristretti un modello mappato è un ulteriore aspetto da considerare. Si tenga infine presente che da un lato la nuvola di punti consente di definire in modo più raffinato tutti gli elementi fornendo informazioni dimensionali, mentre la mappatura può offrire alla percezione tridimensionale anche la qualità materica dell'oggetto. I pacchetti software analizzati vengono valutati in modo positivo, occorre comunque mettere in evidenza che persiste tuttora la problematica legata alla difficoltà di gestire enormi moli di dati, e quindi file di dimensioni troppo grandi; questo resta senza dubbio uno dei punti su cui orientare la ricerca informatica in questo settore.

### **Ringraziamenti**

Un ringraziamento a Leica Geosystem s.p.a. per aver messo a disposizione lo strumento laser e ai fornitori dei software utilizzati nella fase di sperimentazione.

### **Bibliografia**

Beraldin J-A., Picard M., El-Hakim S.F., Godin G., Latouche C., Valzano V., Bandiera A. (2002), "Exploring a byzantine crypt through a high-resolution texture mapped 3D model: combining range data and photogrammetry", *Proceedings Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, Corfù

Baratin L., Curti S., Lodi M. (2005), "3-d visualization and animation of architectonic elements for urban recovery and re-qualification", *Proceedings 2 Workshop on 3D Digital Imaging and Modeling*, Padova.