

# COSTRUZIONE

## DI MODELLI FOTO-REALISTICI DELL'EDIFICATO

di Luigi Colombo

La documentazione del patrimonio culturale si avvale ormai di tecniche tridimensionali in grado di memorizzare interi complessi sotto forma di modelli 3D dai quali è possibile ricavare successivamente proiezioni o rappresentazioni sia prospettiche che assonometriche, utili alla comprensione dell'oggetto che, in questo modo, si valorizza ulteriormente assumendo un aspetto più realistico, se le superfici sono modellate attraverso tecniche di *rendering* da immagini fotografiche.

### LA MODELLAZIONE SPAZIALE DELL'EDIFICATO

La documentazione dell'edificio storico e civile, che rappresenta la risposta naturale alla crescente richiesta di conoscenza geometrica e tematica, è oggi sempre più affidata ad un processo di misura e modellazione spaziale foto-realistica, che può trovare finalizzazioni anche nell'inserimento dell'elaborato in sistemi di geo-visualizzazione, come Google Maps, Microsoft Live Maps, Yahoo Maps, Pagine Gialle Visual.

L'esigenza di un'adeguata descrizione geometrica e tematica è sentita soprattutto in interventi di analisi diagnostica e monitoraggio che interessano la struttura e i materiali; questo potrebbe richiedere, in casi di particolare rilevanza, la realizzazione di un sistema informativo dell'edificio per la tutela dell'opera durante il suo ciclo di vita.

Il modello geometrico, costruito attraverso ben note procedure senza contatto (passive, se basate sull'immagine, o attive, se legate, per esempio a tecniche), si può configurare come un modello di punti o un modello di *mesh*.

Inoltre, la sua lettura risulta ancora più efficace qualora si esegua sopra ad esso la riproiezione dell'immagine fotografica secondo i concetti della *rendering* foto-realistico.

La densità dei punti oggetto acquisiti e la precisione della ricostruzione sono parametri strettamente correlati: solo una griglia di passo ridotto può offrire una descrizione adeguata e una corretta ricostruzione della forma.

Il passo di scansione è strettamente collegato alla distanza media e alla posizione relativa sensore-oggetto: per ottenere un modello di punti con densità pressoché costante (per

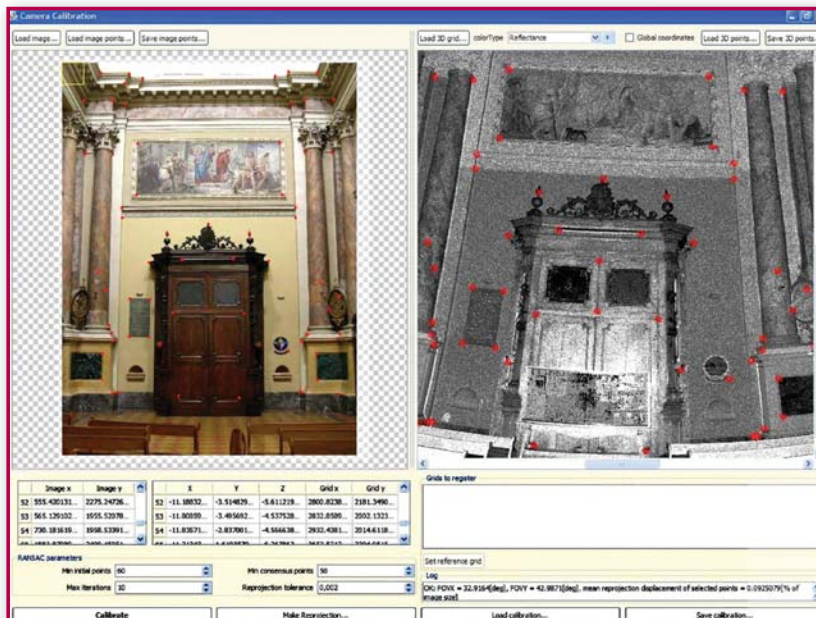


Figura 1 a-b - La copertura fotografica ripresa direttamente dallo scanner (a) e quella manuale off-line (b).

esempio, un punto ogni dm<sup>2</sup>) occorrerà variare opportunamente lo step angolare di acquisizione in funzione di questi parametri.

La costruzione di un modello geometrico di tipo foto-realistico comporta una naturale sinergia operativa fra elaborazione fotogrammetrica e scansione laser. La scansione registra l'oggetto attraverso sequenze strutturate di punti, con origine nota e riferimento comune; la fotogrammetria, poi, completa la descrizione fornendo il dettaglio materico e il degrado.



Figura 2 a-b - I punti di legame necessari per la riproiezione manuale di immagini.

Il progetto delle posizioni di scansione deve garantire un'ampia visibilità dell'area interessata dall'intervento di rilievo; in questo senso, è preferibile usare scanner panoramici, con FoV (campo di osservazione) di  $360^\circ \times 320^\circ$ , ottimizzare le zone di collegamento fra nuvole e limitare i fenomeni di occlusione e di ombreggiatura prodotti da oggetti, sottosquadri, condizioni di luce.

Proprio il problema visibilità-occlusioni è la maggiore causa della perdita di informazioni: in edifici di forma complessa e di dimensioni significative, diviene spesso impossibile realizzare un modello di punti, anche utilizzando più scansioni da stazioni collocate attorno all'oggetto. Per limitare questi inconvenienti, è utile pre-registrare in situ le scansioni, visualizzarle interattivamente, prevenire subito nuove acquisizioni a completamento.

La gestione informatica del modello di punti complessivo risulta sempre molto pesante: per ovviare a questo, è possibile utilizzare processi software di semplificazione *LoD* (Livello di Dettaglio) che operano su punti, mesh e texture, così da tenere in memoria solo quanto è necessario e visibile. In particolare, la procedura *LoD continuo* è una nota tecnica adottata in operazioni di foto-texturing per la riduzione del numero di mesh e della risoluzione delle texture, al fine di ottimizzare il rapporto fra qualità visiva e tempo di rendering; il livello di dettaglio viene calcolato dinamicamente sulla base della complessità delle superfici, della distanza di visualizzazione e dell'angolo di osservazione, utilizzando valori soglia pre-selezionati.

### OPERAZIONI DI TEXTURE MAPPING

Il *texture mapping* di oggetti, richiede un'adeguata sequenza di immagini e consente di realizzare la superimposizione di dati tematici su modelli di punti o di superfici.

Durante la fase di ripresa fotografica, si devono evitare situazioni di sovra e sotto-esposizione; inoltre, nel caso di edifici, finestre e vetrate possono causare riflessioni e ombre indesiderate sulle foto. Nel rilievo di interni, la soluzione potrebbe essere quella di operare di notte, con luce artificiale diffusa.

La registrazione delle immagini può essere eseguita in contemporanea con la scansione (acquisizione *on-line* o *directa*), se lo strumento è attrezzato con una fotocamera collegata al sensore laser: in questo caso sono noti a priori i parametri dell'orientamento interno ed esterno della camera.

Questo tipo di approccio risulta vantaggioso proprio per la conoscenza dei parametri dell'orientamento ma presenta una serie di vincoli e inconvenienti, come il condizionamen-

to della situazione ambientale, l'impossibilità di variare liberamente la distanza della ripresa per descrivere particolari significativi (se non ripetendo anche la scansione) e l'accadimento di situazioni per cui spesso singoli dettagli ricadono su più immagini, con la conseguente necessità di mosaicatura, elaborazione radiometrica e derivante degrado della qualità (figura 1 a-b).

Nel caso sia invece preferibile memorizzare le immagini in tempi diversi (acquisizione *off-line*), si deve acquisire la copertura fotografica da posizioni molto vicine a quelle delle scansioni e con lo stesso orientamento, per non generare lo sdoppiamento di particolari e incongruenze prospettiche.

È tuttavia possibile non rispettare il vincolo geometrico fra ripresa dell'immagine e scansione se il software di elaborazione consente di operare come segue: foto e scansioni sono registrate da posizioni scelte liberamente e indipendentemente e poi dagli stessi punti di acquisizione delle immagini vengono generate (via software) scansioni *virtuali* ad hoc. In generale, la disponibilità di texture di risoluzione e radiometria omogenee costituisce l'elemento fondamentale per un adeguato processo di rendering fotografico.

### RIPROIEZIONE DI IMMAGINI SUL MODELLO DI PUNTI O DI SUPERFICI

La riproiezione di immagini sopra un modello di punti o di superfici richiede la conoscenza dei parametri dell'orientamento interno della foto-camera e la stima del suo orientamento esterno. Con sensori fotografici collocati nel dispositivo di scansione o strettamente collegati ad esso, l'orientamento esterno risulta già noto: in questo caso, si parla di *riproiezione automatica* durante la scansione.

Usando invece la fotocamera su treppiede, in modo indipendente dal sensore di scansione, l'orientamento esterno è incognito e deve essere determinato (insieme con quello interno, se la camera non è calibrata) mediante punti di legame selezionati sul modello e sull'immagine (*riproiezione manuale*).

Il procedimento automatico rappresenta uno step sempre delicato, perché le fotocamere *interne* registrano di solito immagini a bassa risoluzione, mentre quelle *collegate* offrono minore stabilità di posizione nel tempo e le immagini sono spesso acquisite in condizione di luce non ottimale.

Al contrario, la riproiezione manuale comporta la selezione e il riconoscimento di un ampio set di punti di legame ben distribuiti sulla scena, soprattutto in opere complesse come quelle di tipo storico; in ogni caso, la soluzione migliore sembra essere quella di utilizzare entrambe le modalità di riproiezione.

La figura 2 a-b mostra la fase di selezione manuale dei punti di legame (all'interno del software 3D Reconstructor) sopra alcune superfici della Chiesa delle Grazie a Bergamo.



Figura 3 a-b - Interni della Chiesa delle Grazie a Bergamo Bassa: confronto fra proiezione dell'immagine sul modello di punti (a) e di superfici (b).



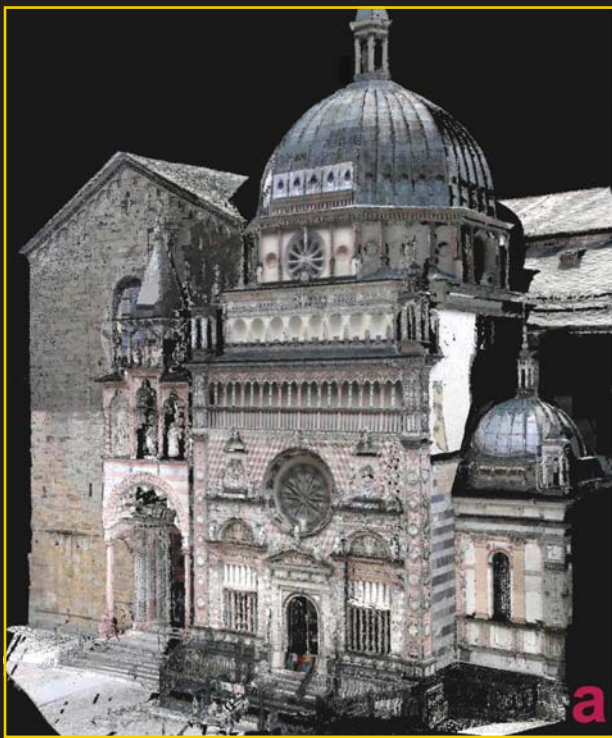


Figura 4 a-b - Foto-texturing diretto dei prospetti principali di Santa Maria Maggiore (esterni).

In basso: figura 5 - Foto-texturing manuale degli interni della Chiesa delle Grazie, sopra un modello di punti molto denso (vista zenitale).

### PROBLEMI DI TEXTURING E RIMEDI

Immagini di risoluzione più elevata della densità delle nuvole di punti (cosa abbastanza frequente), in modelli per cui è richiesta una scala di visualizzazione elevata, possono preservare la loro qualità solo se si proiettano i pixel sopra un modello di mesh.

La figura 3 a-b mostra risultati a confronto per la riproiezione su modelli di punti e di superfici, con riferimento all'intradosso della cupola della Chiesa delle Grazie; si può notare la diversa efficacia della tematizzazione: quando l'immagine è proiettata sulle nuvole di punti, è la densità di queste ultime che condiziona la qualità dell'operazione di rendering fotografico, mentre quando l'immagine è spalmata sopra una mesh si conserva pienamente la sua risoluzione fotografica.

Molti aspetti tecnici dell'operazione sono ancora da risolvere: le discontinuità radiometriche fra superfici contigue, per esempio, la perdita di informazioni a causa di occlusioni, l'eventuale distorsione geometrica prodotta sui contorni delle entità da fenomeni imputabili a una non corretta calibrazione o all'orientamento della fotocamera.

Rimedi utili per attenuare questi inconvenienti possono essere un efficace bilanciamento dei colori, che ottimizza i livelli cromatici RGB, e il *blending*, cioè il ricorso a processi interpolativi (*smoothing*) sulle differenze radiometriche fra immagini riproiettate, sulla base della relazione spaziale immagine - oggetto (distanza e angolo di osservazione, costante della camera, risoluzione delle immagini).

Bilanciamento e *blending* sono effettuati dapprima su ciascuna nuvola e poi, dopo averle collegate fra loro, sull'intero modello ricostruito.

### ESPERIENZE SVILUPPATE

Gli edifici storici da conservare sono numerosi nel nostro Paese e rappresentano un impegno rilevante per la comunità scientifica e per le istituzioni preposte alla gestione dei Beni Culturali; in particolare gli edifici antichi in muratura costituiscono opere sensibili da salvaguardare

con opportune azioni di tutela e recupero.

A Bergamo, insediamento di vecchie origini, la basilica di Santa Maria Maggiore nella storica Città Alta, posta sul colle e circondata dalle mura venete, rappresenta un monumento di grande significato per la comunità.

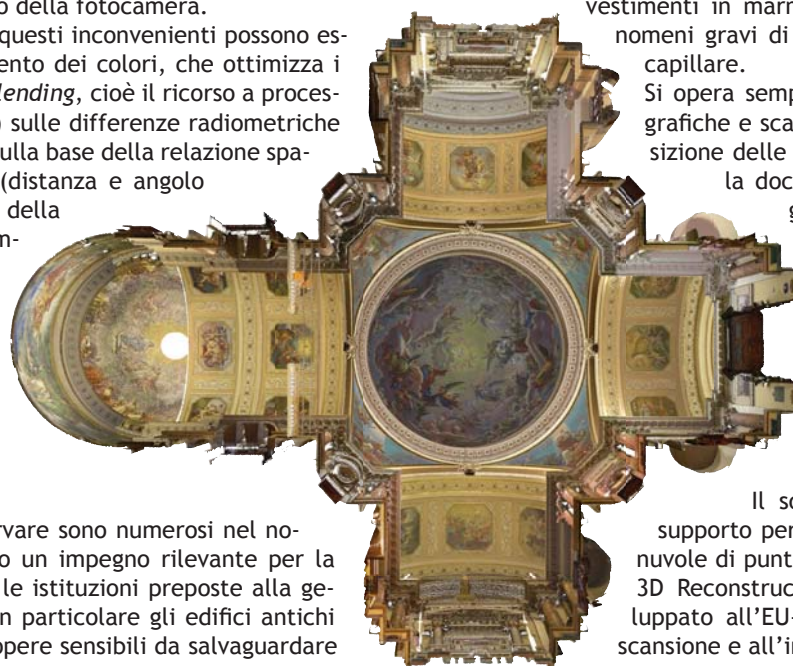
Da qualche anno, questo antico edificio trecentesco, realizzato in arenaria, è interessato da operazioni di misura e documentazione da parte del laboratorio di Tecnologie geomatiche dell'Università (GeoLab): in particolare, rilievi per la definizione di sezioni orizzontali e verticali e per la costruzione di un modello spaziale (interni ed esterni), con tecnica a scansione, nonché ortofoto delle zone affrescate. In particolare per il rilievo degli esterni è stato scelto uno scanner terrestre Riegl di grande portata e con una fotocamera collegata, in grado di produrre modelli spaziali di punti con foto-texturing diretto (dettagli dei risultati finali in figura 4 a-b).

Un edificio religioso ottocentesco, la Chiesa delle Grazie, posta nella Città Bassa, è anch'essa oggetto di rilievi per la documentazione degli interni, con pareti in pietra e rivestimenti in marmo, degradati da fenomeni gravi di umidità e di risalita capillare.

Si opera sempre con misure topografiche e scansione laser; l'acquisizione delle immagini digitali per la documentazione del de-

grado materico è stata eseguita durante la scansione, procedendo di notte per la ridotta praticabilità diurna dell'edificio, e poi integrata con un'apposita campagna fotografica.

Il software scelto come supporto per il trattamento delle nuvole di punti e il foto-texturing è 3D Reconstructor, un package sviluppato all'EU-JRC e dedicato alla scansione e all'imaging terrestre.







Pagina a fianco:  
Figura 6 - Una vista di dettaglio del modello denso di punti, con l'immagine ri-proiettata.

Le esperienze sviluppate a Bergamo in questi anni hanno evidenziato che il foto-texturing automatico presenta significativi vantaggi, in situazioni normali di lavoro; in cattive condizioni di luce il processo manuale è invece più versatile ed efficace, pur se la fase di riproiezione è difficoltosa, in quanto si devono selezionare manualmente molti punti di legame.

Le figure riportate in precedenza e quelle di seguito illustrano aspetti di queste problematiche: la figura 3 a-b, come già indicato, mette a confronto il problema della ri-

proiezione delle immagini sul modello, facendo riferimento ad un modello di punti (a) di ridotta densità (mappatura con effetti modesti) e al corrispondente modello di superfici (b), che offre risultati migliori.

La figura 5 presenta invece una vista nadirale di un modello denso di punti, relativo agli interni della Chiesa delle Grazie: il foto-texturing è stato eseguito per via manuale; la figura 6 mostra un dettaglio di questo complesso modello texturizzato.

#### BIBLIOGRAFIA

- Y. Alshwabkeh, N. Haala (2005) - *Automatic multi-image photo-texturing of complex 3D scenes* - XVIII CIPA International Symposium, Turin - ISPRS - Vol. 34-5/C34, pp. 68-73.
- A. Baumberg (2002) - *Blending images for texturing 3D models* - Proc. of the British Machines Vision Conference- pp. 404-413.
- L. Colombo, B. Marana (2007) - *Camera laser scanner* - GIM International, 21 (8), pp.15-17.
- L. Colombo, B. Marana (2008) - *Scanning and imaging for building geo-knowledge* - In print on Geoinformatics.
- L.Colombo, B. Marana (2008) - *Photo-textured building models* - In print on GeoConnexion International.
- E. Petsa, L. Grammatikopoulos, I. Kalisperakis, G. Karras, V. Pagonis (2007) - *Laser scanning and automatic multi-image texturing of surface projections* - XXI CIPA International Symposium, Athens, 1-6 October, pp. 579-584.

#### RINGRAZIAMENTI

Al team del GeoLab presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bergamo.

#### ABSTRACT

*The construction of photo-realistic building models - A relevant aspect in building modelling is the generation of photo-textured 3D models; these representations are nowadays more and more requested in engineering applications, but the achievement of good results, through laser scanning and imaging geo-technologies, still requires great efforts and heavy processing time.*

*The photo-texturing topics are highlighted in this work with the support of some test cases, regarding ancient historic buildings, carried out by GeoLab at the University of Bergamo (Italy), through the support of well-known package EU JRC 3D-Reconstructor.*

#### AUTORE

LUIGI COLOMBO  
 LUIGI.COLOMBO@UNIBG.IT  
 UNIVERSITÀ DI BERGAMO  
 DIPARTIMENTO DI PROGETTAZIONE E TECNOLOGIE