

ANALISI DI PROCEDURE PER TEXTURE MAPPING. TEST SITE: IL CORTILE CINQUECENTESCO DEL PALAZZO DEL BO A PADOVA

Massimo FABRIS, Vladimiro ACHILLI, Denis BRAGAGNOLO,
Andrea MENIN, Francesco ONGARATO, Giuseppe SALEMI

Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR, Università di Padova, Via Marzolo, 9 – 35131 Padova,
Tel: 049-8271614, fax: 049-8275582, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

Riassunto

Le procedure per *texture mapping* permettono di integrare modelli tridimensionali di oggetti con acquisizioni fotografiche associando, a ciascun punto, il corrispondente valore radiometrico contenuto nelle immagini.

In questo lavoro vengono descritte e analizzate due differenti procedure di texturizzazione con riferimento al rilievo di una porzione del cortile cinquecentesco del palazzo del Bo a Padova effettuato con metodologie integrate *laser scanning* e topografiche classiche.

Abstract

3D models of objects and the radiometric data acquired by means of digital cameras from different points of view can be integrated generating products with photo-realistic information useful in many application.

In this work two different procedures of texture mapping are described and analyzed in the frame of the 3D survey of a part of the sixteenth-century courtyard of the “Palazzo del Bo” (Padua); the 3D measurement have been performed integrating laser scanning and classical topography methodologies.

Introduzione

La metodologia *laser scanning* terrestre permette la ricostruzione tridimensionale di oggetti di diverse dimensioni mediante l'allineamento di singole scansioni acquisite da differenti punti di presa, minimizzando il più possibile la presenza di zone d'ombra ed elementi in sottosquadro. L'integrazione tra un modello digitale tridimensionale e l'informazione radiometrica, ottenuta mediante acquisizioni fotografiche ad alta risoluzione, permette di aggiungere informazioni fotorealistiche al modello 3D ottenendo un prodotto fruibile in modo immediato ed interattivo (Frueh et al., 2004; Conforti Andreoni, Pinto, 2004; Laycock, Day, 2004; Fabris et al., 2007). Tuttavia, le differenti procedure che permettono la generazione di *texture mapping* possono fornire risultati finali significativamente diversi.

In questo lavoro, due differenti procedure di texturizzazione sono state applicate al modello 3D di una porzione del cortile cinquecentesco del palazzo del Bo a Padova, rilevato mediante l'integrazione di tecniche *laser scanning* e topografiche classiche.

Il Palazzo del Bo divenne sede dell'Università di Padova nel 1493, quando si attuò il trasferimento delle varie scuole, localizzate nelle contrade della città, ad un blocco di edifici di residenza nobiliare; l'insegna dell'edificio principale, costituita dalla testa di un bue e la scritta “*Hospitium Bovis*”, determinò il nome di tale palazzo. Nel corso dei secoli sono state effettuate numerose opere di ampliamento, riordino e consolidamento statico, l'ultima delle quali, conclusasi nel 1942, ha determinato la forma attuale dell'edificio.

Generazione del modello 3D del cortile cinquecentesco del Palazzo del Bo

Il modello tridimensionale è stato ottenuto mediante un rilievo effettuato con il *laser scanner* Leica HDS 2500, con passo medio di acquisizione di 1 cm; prima delle scansioni, realizzate da differenti stazionamenti, sono stati predisposti opportuni *target* retroriflettenti.

Il *laser scanner*, caratterizzato da una precisione di 6 mm per distanze comprese tra 1.5 e 50 m, effettua scansioni dettagliate in corrispondenza ai singoli *target*, determinandone il baricentro e migliorando quindi la precisione di misura del centro di ogni segnale; complessivamente sono state effettuate 8 scansioni da 5 differenti stazioni di presa (figura 1) con distanze *laser scanner* – parete comprese nell'intervallo 7÷15 m. In corrispondenza ad alcuni stemmi presenti sulle pareti laterali sono state effettuate scansioni di dettaglio con passo di acquisizione di 0.5 cm.

Dopo la predisposizione e la misura di una rete topografica di riferimento, le coordinate dei *target* sono state acquisite mediante la stazione integrata Leica TC2003 in un sistema di riferimento locale. Oltre ai *target* retroriflettenti, sono stati misurati anche punti naturali, ben visibili e localizzati in corrispondenza delle volte a crociera del cortile mediante intersezioni in avanti multiple.

L'allineamento delle singole scansioni è stato effettuato con il software *Cyclone*® v. 5.3 secondo due differenti modalità: *survey registration*, che consiste nella roto-traslazione diretta di ogni singola scansione nel sistema di riferimento locale tramite l'imposizione delle coordinate dei *target* della scansione; *cloud registration*, per l'allineamento delle nuvole di punti prive dei *target* sulle scansioni georiferite, sfruttando la sovrapposizione tra acquisizioni successive (Gaudini et al., 2006). Il risultato della georeferenziazione in uno stesso sistema di riferimento di tutte le scansioni, ottenuto con errore massimo di mosaicatura di 3 mm, ha permesso di ottenere il relativo modello tridimensionale (figura 1).

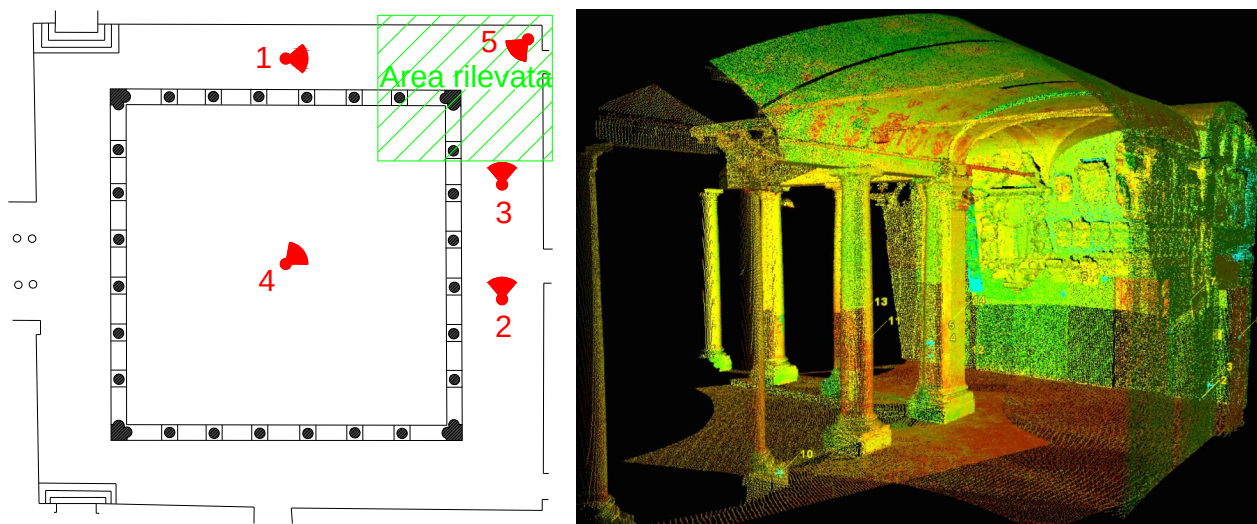


Figura 1 – Disposizione planimetrica dei punti di stazione del laser scanner nel cortile cinquecentesco del palazzo del Bo (sx); modello tridimensionale ottenuto dall'allineamento di tutte le scansioni (dx)

Texturizzazione sul modello tridimensionale

Per l'acquisizione delle informazioni radiometriche è stata utilizzata la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds Mark II con risoluzione di 16.7 Megapixel. Le prese sono state effettuate sia dai punti di stazionamento del *laser scanner*, che da altre postazioni geometricamente compatibili con l'acquisizione, in modo da limitare zone d'ombra ed elementi in sottosquadro.

La texturizzazione delle immagini digitali sul modello 3D è stata realizzata mediante gli ambienti software *Z-Map*® e *Reconstructor*® che utilizzano differenti strategie.

Nel primo caso, dalla nuvola di punti globale viene generato un DEM (*Digital Elevation Model*) rispetto ad un piano prefissato; quindi, dopo le eventuali operazioni di *editing* manuale, è possibile

ottenere la texturizzazione tramite la proiezione delle singole immagini sul modello estratto, collocando spazialmente ogni singolo *pixel*. Nel caso di oggetti morfologicamente complessi è necessario estrarre diversi DEM rispetto a piani con giaciture diverse per coprire l'oggetto ed evitare le zone d'ombra; successivamente, la *texture* complessiva viene ottenuta con la mosaicatura di tutte le proiezioni riferite allo stesso sistema locale del modello globale. L'*editing* manuale risulta necessario in quanto i DEM estratti automaticamente presentano, spesso, problemi dovuti a sottosquadri, lacune di dati, rumore ed effetti di bordo.

Nel caso esaminato è stato necessario estrarre 21 DEM (con passo di 1 cm) per ottenere la *texture* complessiva dell'oggetto; collimando i punti omologhi tra modelli e immagini è stato possibile proiettare i *pixel* dell'immagine rispetto ad ogni piano prefissato ed associare ad essi la terza coordinata fornita dal DEM. Con questa metodologia sono stati utilizzati anche i punti naturali (rilevati con la stazione integrata in corrispondenza della volta a crociera) per ottimizzare il risultato finale (figura 2).



Figura 2 – Visualizzazione della texture della porzione rilevata (software Z-Map©)(sx);
texturizzazione di uno stemma (dx)

La seconda procedura di *texture mapping* non richiede la generazione di DEM, in quanto la proiezione delle immagini digitali avviene direttamente sulla nuvola di punti o sulla *mesh* triangolare. In questo caso è stato scelto di operare direttamente sulla nuvola di punti del modello globale, in quanto, operando sulla *mesh*, risultano più difficoltose le operazioni di collimazione dei punti omologhi (soprattutto utilizzando la mappatura delle inclinazioni come modalità di visualizzazione della *mesh* stessa).

Su ogni singola scansione del modello sono state prima calibrate e, successivamente, proiettate tutte le immagini che insistevano su di essa; mosaicando le singole scansioni texturizzate è stata ottenuta la *texture* finale sul modello 3D (figura 3). In questa fase sono stati confrontati i valori radiometrici di ogni coppia di *pixel* omologhi nella zona di sovrapposizione, minimizzando le variazioni di colore, luminosità e contrasto.



Figura 3 – Esempi della texture ottenuta con il software Reconstructor©:
prospetto Est (sx); volta a crociera (dx)

Confronto delle metodologie

La correttezza geometrica delle *texture* ottenute con le due metodologie descritte, è stata visualizzata sovrapponendo sulle due *texture* le linee di discontinuità, ottenute dal modello globale per i prospetti e le piante: in entrambi i casi si nota una buona corrispondenza per i prospetti (figura 4), mentre per la volta a crociera, anche se relativamente semplice, entrambe le procedure hanno presentato variazioni non trascurabili. Ciò è stato causato dall'impossibilità di misurare punti naturali, da utilizzare come vincoli ulteriori, nella zona del rene della crociera (zona d'ombra). Da un'analisi dettagliata risulta che la metodologia basata sull'estrazione di DEM fornisce *texture* che seguono più fedelmente le linee di discontinuità nel caso di aree semplici rispetto alla metodologia basata sulla proiezione diretta dell'immagine sulla nuvola di punti; avviene, invece, il contrario nel caso di aree morfologicamente più complesse (ad esempio, gli stemmi presenti sulla parete di figura 4).



Figura 4 – Texture del prospetto Est generate con il software Z-Map© (sx) e Reconstructor© (dx)
con sovrapposizione delle linee di discontinuità ottenute dal modello globale

Il bilanciamento dei livelli di colore delle immagini utilizzate per generare una *texture* è un'operazione molto importante ai fini di generare prodotti che abbiano efficacia fotorealistica. In *Z-Map*© il bilanciamento avviene rispetto ad un'immagine di riferimento (software *Photone*©), uniformando a questa tutte le altre (la difficoltà quindi consiste nell'individuare l'immagine di riferimento con il bilanciamento più corretto). In *Reconstructor*©, invece, viene effettuata una media dei valori del bilanciamento tra tutte le immagini sorgente (*colour balancing*): in genere, questa procedura richiede un bilanciamento manuale preventivo per evitare che immagini con grandi differenze nei livelli di colore possano alterare il risultato finale. In entrambi i casi, comunque, vengono generate *texture* omogenee con livelli ottimali per applicazioni in ambito architettonico e dei Beni Culturali (figura 5).



Figura 5 – Texture della volta a crociera ottenuta in ambiente *Z-Map*© con la mosaicatura di più immagini a livelli uniformati

Discussione e conclusioni

In questo lavoro sono state applicate due differenti procedure di *texture mapping* per la texturizzazione di una porzione del cortile cinquecentesco del Palazzo del Bo (Padova). Il rilievo 3D è stato effettuato con metodologie integrate *laser scanning* e topografiche classiche; dopo aver acquisito le nuvole di punti (generalì e di dettaglio), predisposto e misurato una rete topografica di riferimento e acquisito i *target* retroriflettenti, l'allineamento delle scansioni è stato effettuato con il software *Cyclone*© generando il modello 3D completo della porzione analizzata.

La texturizzazione è stata effettuata con i software *Z-Map*® e *Reconstructor*®: nel primo caso sono stati generati DEM rispetto a piani prefissati e, successivamente, sono state proiettate le immagini sui modelli ottenuti, utilizzando anche punti naturali d'appoggio.

I vantaggi di questa procedura consistono nel fatto che l'estrazione di diversi DEM, segmentando il modello, permette di controllare meglio gli errori, in quanto si opera su singole porzioni; inoltre, nelle aree che presentano superfici semplici la *texture* presenta un elevato grado di dettaglio.

Gli svantaggi sono dovuti alla necessità di estrarre tanti più DEM quanto più l'oggetto è complesso, per evitare il più possibile le zone d'ombra; inoltre, ogni modello deve essere editato manualmente richiedendo, anche, che ciascuna immagine sia proiettata sul DEM a cui si riferisce (questa procedura richiede tempi di esecuzione più elevati).

Nel secondo caso, invece, la proiezione delle immagini avviene direttamente sulla *mesh* o sulla nuvola di punti del modello 3D globale: vengono così ridotti i tempi di esecuzione delle varie operazioni, ma risulta più difficile controllare le varie fasi del processo.

La precisione geometrica delle *texture* ottenute nell'applicazione analizzata risultano soddisfacenti in entrambi i casi per oggetti relativamente semplici, in quanto le linee di discontinuità seguono "abbastanza" fedelmente le *texture* stesse (figura 4); tuttavia, in questi casi, la metodologia basata sull'estrazione di DEM e utilizzo di punti naturali ha fornito risultati di poco migliori. La precisione geometrica in corrispondenza ad elementi complessi (gli stemmi di figura 4) risulta non ottimale in entrambi i casi. La metodologia basata sulla proiezione diretta delle immagini sulle nuvole di punti ha fornito risultati qualitativamente migliori: operando direttamente sul modello globale è possibile vincolare più facilmente le immagini sugli oggetti complessi perché la morfologia dell'oggetto risulta più chiara. Infatti, la necessità di dover estrarre un DEM per la generazione della *texture*, crea zone d'ombra causate dalla proiezione della nuvola di punti sul piano di riferimento prefissato, "nascondendo" elementi che potrebbero essere utilizzati per vincolare le immagini al modello geometrico.

Anche per quanto riguarda l'accuratezza grafica, le due procedure hanno fornito risultati soddisfacenti: in questo caso, la metodologia basata sull'estrazione di DEM e proiezione delle immagini su di essi genera *texture* "leggermente" migliori, senza perdita di informazioni nel passaggio tra immagini sorgenti e modello texturizzato.

Le due metodologie permettono, quindi, di ottenere risultati quantitativamente e qualitativamente soddisfacenti per applicazioni in ambito architettonico e dei Beni Culturali, finalizzate a indagini conoscitive e ad interventi di restauro.

Bibliografia

Conforti Andreoni D, Pinto L. (2004), "Il Texture mapping del Battistero di Cremona ottenuto con riprese fotogrammetriche digitali e laser scanner terrestre", *Atti del convegno e-Arcom*, Ancona, 20 – 22 maggio, 2004:

http://www.simitecno.it/discoseminario/convegni/convegno6aprile_file/contributiTecnici/TextureMAPPING.pdf

Gaudini G, Achilli V, Bragagnolo D, Fabris M, Menin A, Ongarato F, Salemi G. (2006), "Rilievo e restituzione 3D dell'Arca Scaligera di Cansignorio (Verona) mediante metodologie laser scanning e fotogrammetria digitale", *Atti della 10^a Conferenza Nazionale ASITA*, Bolzano, 14 – 17 novembre 2006, 2: 1095-1102

Fabris M, Achilli V, Bragagnolo D, Menin A, Munari C, Salemi G. (2007), "Rilievo, restituzione 3D e texturizzazione delle mura cinquecentesche di Padova", *Atti del Convegno e-Arcom "Sistemi Informativi per l'Architettura"*, Ancona, 17 – 19 maggio, 2007: 245-250

Frueh C, Sammon R, Zachor A. (2004), "Automated Texture Mapping of 3D City Model With Oblique Aerial Imagery", *Proceedings of the 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, 2nd International Symposium on (3DPVT'04)*: 396-403

Laycock R G, Day A. M. (2004), "Automatic techniques for texture mapping in virtual urban environments", *Proceedings of Computer Graphics International*: 586-589