

Modelli multiscala della città attraverso tecniche 3D

di A. Adami, F. Guerra, P. Vernier

Tra le nuove tecniche di acquisizione, gestione e rappresentazione dei dati georeferenziati tramite l'integrazione di dati di cartografia numerica e tridimensionale vi sono i modelli multiscala; di particolare interesse dal punto di vista tecnico sono le procedure integrate di rilevamento e restituzione per la realizzazione del modello digitale del costruito utilizzando dati rilevati sia da terra che da aereo. L'articolo illustra alcune esperienze svolte dal laboratorio di fotogrammetria dello IUAV utilizzando dati provenienti da laser scanner aereo e terrestre, immagini digitali ad alta risoluzione calibrate e da rilievi topografici di dettaglio.

L'uso quotidiano dei modelli tridimensionali è ormai cosa appurata: tour virtuali delle città utili come linee guida per la progettualità, studi di dettaglio come per esempio con la propagazione delle onde elettromagnetiche, gestione di eventi naturali e non, studi di valutazione di impatto ambientale ed analisi urbanistiche sono solo alcuni dei campi di applicazione delle rappresentazioni 3D. L'allargarsi del bacino d'utenza, sia a livello numerico, sia a livello di diverse specializzazioni ha evidenziato la necessità di modelli che oltre all'aspetto geometrico, sul quale ci si focalizzava fino a qualche anno fa, fornissero delle informazioni supplementari, spostando così l'accento sulle fasi di realizzazione del modello solido. Grazie all'integrazione dei dati vector con dati raster è possibile infatti attribuire ad ogni elemento una serie di significati derivanti dalle texture applicate, siano queste immagini fotografiche della realtà o mappature tematiche.

I limiti però connessi all'alta richiesta di memoria di questo approccio ne hanno condizionato un agile utilizzo da parte dell'utente.

Un necessario bilanciamento della risoluzione delle componenti geometriche e delle texture, proprio per cercare di risolvere questo problema, ha portato alla nascita dei cosiddetti modelli multiscala, ossia modelli che possono essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione, nei quali è possibile quindi bilanciare la componente geometrica e quella raster in ragione del mantenimento delle caratteristiche metriche e semantico-percettive dettate dalla scala nominale della rappresentazione.

La fase di costruzione dei modelli mappati multiscala è un esempio di integrazione di diverse fonti: cartografia numerica, scansioni da aereo, scansioni terrestri ed immagini raster. Il caso studio, su cui sono state applicate le tecniche a seguito descritte, riguarda una parte del centro di Venezia. L'area prescelta mostra numerosi elementi di interesse per la fase di modellazione presenti nel resto della città quali un

campo e una fondamenta prospicienti un canale, edilizia residenziale e non (di diversi periodi storici), diverse quote nel piano calpestabile ed un ponte sul canale.

Cartografia numerica

La cartografia numerica è sicuramente uno dei primi strumenti utilizzati nella realizzazione dei modelli tridimensionali. Essa fornisce informazioni di tipo planimetrico ed talvolta di tipo altimetrico. La cartografia numerica di recente realizzazione si può considerare propriamente tridimensionale, infatti la posizione in quota di ogni oggetto rappresentato non deve essere ricavata dagli elementi dell'altimetria (punti quotati, curve di livello), ma è immediatamente deducibile dalle coordinate della primitiva geometrica associata all'oggetto stesso. La cartografia numerica fornisce le primitive geometriche per la definizione dei cassoni edilizi e le informazioni riguardanti la geometria delle falde. Ovviamente tutte le informazioni ottenute dalla cartografia hanno caratteristiche di precisione derivanti dalla scala nominale della carta. Nella realizzazione del modello mappato multiscala di Venezia, nel particolare, si è utilizzata la carta in scala 1:500 realizzata dal Comune di Venezia nel 1981, con un'incertezza di 10 cm. I dati altimetrici sono stati ottenuti da altri sistemi (database esterni, punti Lidar). E' stata utilizzata inoltre la carta dei tetti, sempre in scala 1:500, per definire la geometria delle falde. Infine è stato utilizzato anche il fotopiano di Venezia, in scala 1:500, come controllo degli elementi di copertura.

Laser aereo

La scansione laser aerea è una delle metodologie più avanzate nel campo del rilevamento territoriale, soprattutto grazie allo straordinario livello di efficienza e di automazione, che derivano da un'elevatissima frequenza di campionamento, da una precisione decimetrica e da una



notevolissima densità di acquisizione di punti. Il rilevamento avviene per mezzo di un sensore laser aviotrasportato, integrato con sensori di posizionamento/assetto GPS/INS, che emettendo (e ricevendo) dei segnali scansiona l'area sorvolata trasversalmente rispetto alla direzione di volo. L'acquisizione dei dati è caratterizzata da alcuni fondamentali parametri quali la frequenza di emissione dell'impulso laser (e quindi di acquisizione delle misure), l'altezza relativa di volo, il numero di risposte memorizzate (che dipende dal tipo di sensore adottato) e l'ampiezza angolare della scansione. La combinazione di questi valori determina la densità di campionamento e influenza in modo decisivo la produttività del rilievo.

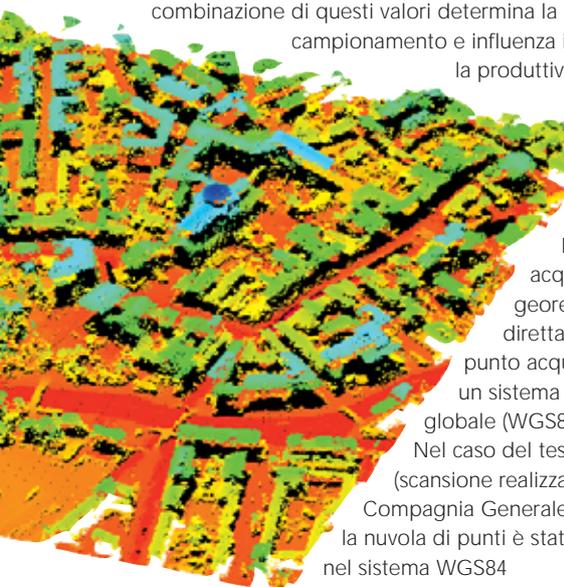


Figura 1: Nuvola di punti laser Toposys

Dopo la fase di acquisizione occorre georeferenziare direttamente il generico punto acquisito rispetto ad un sistema di riferimento globale (WGS84 o cartografico). Nel caso del test fatto a Venezia (scansione realizzata nel 2002 dalla Compagnia Generale di Riprese Aeree) la nuvola di punti è stata georeferenziata nel sistema WGS84

Laser terrestre

I rilievi sono stati effettuati con un laser-scanner Riegli modello LMSZ360i integrato con camera digitale Nikon D100. Si tratta di un sensore terrestre portatile, adatto all'acquisizione veloce di immagini tridimensionali di buona qualità anche in presenza di difficili condizioni ambientali. Una delle caratteristiche più interessanti introdotte dalla Riegli è di aver sviluppato 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. 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.

La rumorosità dello strumento ($\pm 1\text{cm}$ nella determinazione della distanza) è stata compensata dalla velocità delle acquisizioni; inoltre, la ridondanza dei dati ha permesso di ottenere dei risultati adeguati alle precisioni richieste per la descrizione degli oggetti architettonici che caratterizzano il test. Cercando di assicurare la maggior ortogonalità possibile delle scansioni ed ottenere un'omogenea distribuzione dei punti, si sono utilizzati 5 diversi punti di stazione con un passo in partenza del raggio laser pari a 0.08° . Al termine della registrazione delle diverse scansioni si è ottenuta una nuvola di circa 25 milioni di punti.

Prese fotografiche

Le prese fotografiche, che hanno lo scopo di aggiungere informazioni descrittive rispetto al modello geometrico, sono state realizzate con diverse camere fotografiche digitali sulle quali sono state montate ottiche precalibrate. Oltre che per quelle effettuate col sistema Riegli, le altre prese fotografiche sono state realizzate mediante una Nikon D2X con un sensore da 12 Megapixel. Nell'area test di Venezia, sono state realizzate 21 prese fotografiche con una sovrapposizione del 70 % per ogni scansione, per un totale di 100 scatti utilizzati per attribuire il valore RGB alla nuvola di punti precedentemente realizzata. Le altre prese, realizzate con la D2X, sono state realizzate per cogliere dettagli del costruito ed elementi eventualmente in ombra.

Il modello 3D

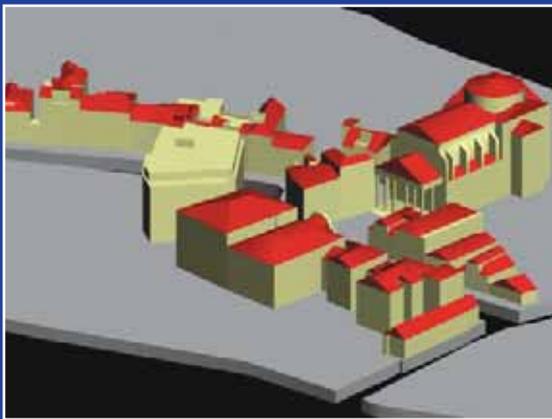
Il modello tridimensionale dell'area test è stato realizzato utilizzando i dati bidimensionali e tridimensionali forniti da tutti gli strumenti precedentemente elencati. La prima difficoltà è legata al fatto che ognuno di questi set di dati è stato realizzato per diverse scale nominali e quindi ha implicitamente un valore di incertezza corrispondente alla propria scala nominale. Non potendo ricorrere a set di dati omogenei la scelta fatta è stata quella di realizzare il modello con diversi gradi di precisione. A livello planimetrico la precisione è data dalla cartografia numerica in scala 1:500, per cui le primitive geometriche, che poi sono state estruse, hanno un'incertezza di ± 0.1 metri. Dal punto di vista altimetrico, i dati utilizzati nella modellazione dei cassoni edilizi (altezza in gronda e disegno delle falde) sono quelli derivanti dalle scansioni terrestri e dal volo Lidar, dunque con un'incertezza, a seconda del tipo di scansione, tra ± 0.5 metri (Lidar) e ± 0.01 metri (laser terrestre). Comunque l'analisi dei dati ha dimostrato una buona congruenza dei



Figura 2: Scansioni laser terrestri, vista zenitale e vista assometrica di dettaglio

dati dati altimetrici ottenuti mediante i due sistemi: lidar e laser scanner terrestre. I dati laser scanner terrestri sono stati utilizzati sia come verifica dimensionale delle planimetrie, sia delle altezze di gronda. Essi inoltre sono stati utilizzati, a seconda delle esigenze, a completamento del set di dati esistenti, colmando ad esempio le lacune dei dati Lidar e della cartografia.

Figura 3:
Modello
tridimensionale
dell'area test



Utilizzando i dati sopra descritti, il modello virtuale della città è stata realizzata con le tecniche ormai note della modellazione solida. I primi oggetti modellati sono state le insule, estruse lungo la verticale di un'altezza pari alla differenza tra la quota mare, (considerata + 0 s.l.m) e la quota del piano di calpestio verificata sia nella cartografia sia con i dati Lidar. Di seguito si sono modellati i cassoni edilizi mediante l'estrusione lungo la verticale delle primitive geometriche rappresentanti l'attacco a terra. In questo caso l'altezza di estrusione è data dalla differenza tra la quota di gronda e la quota di calpestio. Al termine di queste prime fasi di modellazione è apparso evidente che i dati non erano sufficienti a fornire una descrizione esaustiva del costruito e delle relazioni tra i diversi edifici/cassoni edilizi. Gli esempi più evidenti sono i sottoporteghi che non risultano evidenti dalla cartografia e dai dati Lidar, ma sono indispensabili nella modellazione per definire i percorsi. Un altro esempio è stato il colonnato della Chiesa di San Nicolò da Tolentino, che non si coglieva ne' dalla cartografia ne' dalle scansioni aeree. In entrambi i casi la soluzione è stata quella di integrare il set di dati esistente con i dati derivanti dalle nuvole di punti per modellare, mediante le operazioni di estrusione, rivoluzione e attraverso operazioni booleane, le parti nuove.

Modello 3D mappato multiscala

Il trend attuale è quello di aumentare il contenuto informativo dei modelli tridimensionali della città; in particolare si è visto come questo sia possibile aggiungendo al contenuto geometrico, tipico del modello 3D, il contenuto descrittivo delle prese fotografiche. Ciò è possibile attraverso software che attribuiscono ad ogni pixel della superficie del modello, ad esempio un cassone edilizio, il contenuto informativo tratto dalla presa fotografica. Si è osservato però che la mappatura con le fotografie ad alta risoluzione implica un notevole aumento nelle dimensioni del file e di conseguenza difficoltà nella gestione del file. Una possibile soluzione a questo problema è quella di realizzare dei modelli multiscala in cui la texture mappata ha una risoluzione specifica per ogni scala di rappresentazione. Nello specifico, trattandosi di

un modello tridimensionale della città, le scale di rappresentazione saranno quelle caratteristiche delle rappresentazioni architettoniche ed urbane, dalla scala 1:100 alla scala 1:1000. Ciò equivale a definire la dimensione del pixel di ogni texture in modo che essa corrisponda alla minima quantità visibile ad una determinata scala. Quindi il modello, realizzato ad una prefissata scala dal punto di vista geometrico, aumenterà il suo contenuto informativo attraverso la risoluzione delle texture mappate.

Scala di rappresentazione	Dimensione del pixel
1:100	0.02 m
1:200	0.04 m
1:500	0.1 m
1:1000	0.2 m

Dal punto di vista operativo vengono realizzate, con lo stesso modello, più scene 3D corrispondenti ciascuna ad una scala di rappresentazione e quindi con ognuna di queste scene possibile realizzare rappresentazioni statiche e dinamiche.

Il raddrizzamento della facciata è stato realizzato rilevando le coordinate dei punti necessari direttamente dalla nuvola di punti delle scansioni terrestri



Le texture multiscala nello schema di destra dimostrano come ad un tassello della stessa dimensione corrispondano contenuti descrittivi diversi in relazione alla scala nominale



Nello schema a destra le texture sono stampate rispettando il rapporto dimensione del pixel - scala nominale



scala 1:100 1:200 1:500 1:1000

Figura 4: Texture multiscala

Conclusioni

I modelli mappati multiscala, realizzati secondo la metodologia appena descritta hanno delle evidenti difficoltà legate soprattutto ai diversi gradi di precisione ottenibili (precisione planimetrica, altimetrica e di risoluzione delle texture) quando i set di dati di partenza sono eterogenei. La soluzione ottimale sarebbe quella di poter disporre di set di dati omogenei (con gli stessi valori di precisione) oppure di poter effettuare una rete di scansioni laser da terra molto fitta in modo da eliminare zone d'ombra e garantire il ricoprimento

necessario. Questi modelli sono però degli strumenti validi nelle operazioni di descrizione del territorio, in particolare dei centri urbani. L'opzione del multiscala risulta particolarmente efficiente nelle rappresentazioni dinamiche dove, ad esempio, in base all'altezza del volo virtuale verranno utilizzate diverse risoluzioni delle texture. Anche nei modelli VRML sarà possibile utilizzare i modelli multiscala assieme alla tecnica *Level of Detail* (LOD) secondo la quale in base alla distanza dell'osservatore dall'oggetto, la geometria, ed anche le texture, possono essere modificate.

Figura 5: Modello tridimensionale mappato con i raddrizzamenti



Bibliografia

- Adami, F. Guerra, "Modelli 3D della città e del territorio: uno strumento per analisi urbane e territoriali"
- Corongiu, Galetto, M. Rossi, A. Spalla "Cartografia numerica 3D per i database topografici dei centri storici" in Atti del Convegno Sifet 2006
- Ceconello "Rappresentazione del territorio e sistemi conoscitivi on line: multimedia e www" in DDD, Nuove Tecnologie, Multimedia e standard grafici per la rappresentazione digitale del territorio, numero 04 anno 01
- Früh, Zakhor "Constructing 3D City Models by Merging Aerial and Ground Views" in IEEE Computer Graphics and Applications, 2003
- Spalla "La dimensione tempo nella cartografia e nei rilevamenti terrestri" Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA - Verona 28-31 ottobre 2003
- Visintini, Fico, Crosilla, Guerra "A 3D virtual model of the Gorizia downtown (Italy) by matching aerial and terrestrial surveying techniques" in Atti del convegno CIPA 2005 XX International Symposium, Torino
- Visintini, Fico, Spangher "Modellazione 3D dell'ambiente urbano mediante integrazione di scansioni laser aeree e terrestri: l'esempio del Castello di Gorizia" in Atti del Convegno Sifet 2006
- Tunc, Karsli, Ayhan "3D city reconstruction by different technologies to manage and reorganize the current situation" in XXth ISPRS Congress, Istanbul 2004
- Zhou, Q. and Zhang, W. "A preliminary review on 3-dimensional city model" in Proceedings of Asia GIS 2003 Conference, 16-18 October

Autori

ANDREA ADAMI
Politecnico di Milano, DIAR, 2° anno di
dottorato in Geodesia e Geomatica
adami_a@tin.it

FRANCESCO GUERRA
Università IUAV di Venezia, Circe
Laboratorio di Fotogrammetria
guerra2@iuav.it

PAOLO VERNIER
Politecnico di Milano, DIAR, 1° anno di
dottorato in Geodesia e Geomatica,
vernier@iuav.it