

Realizzazione di modelli multiscala della città attraverso l'integrazione di tecniche 3D

Andrea ADAMI(*), Francesco GUERRA(**), Paolo VERNIER(***)

(*)Politecnico di Milano, DIIAR, 2° anno di dottorato in Geodesia e Geomatica, adami_a@tin.it

(**)Università IUAV di Venezia, Circe - Laboratorio di Fotogrammetria, guerra2@iuav.it

(***)Politecnico di Milano, DIIAR, 1° anno di dottorato in Geodesia e Geomatica, vernier@iuav.it

Riassunto

Negli ultimi anni abbiamo assistito ad una evidente evoluzione delle tecniche di acquisizione, gestione e rappresentazione dei dati georeferenziati dovuta all'uso sempre più diffuso di nuove tecnologie informatiche sia nel settore dei beni culturali che nella gestione del territorio.

Una nuova opportunità di gestione integrata del dato di cartografia numerica e tridimensionale è offerta dai modelli multiscala, ovvero di modelli che possano essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione e che permettono quindi di gestire anche il passaggio dalla scala architettonica a quella urbana.

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.

Verranno descritte nell'articolo alcune esperienze svolte dal Laboratorio di Fotogrammetria dell'Università Iuav di Venezia per la realizzazione di un city model della città di Venezia, utilizzando dati provenienti da laser scanner aereo e terrestre, immagini digitali ad alta risoluzione calibrate e da rilievi topografici di dettaglio.

Abstract

This paper will demonstrate how new technologies in cartographic environment integrate acquisition, management and representation techniques for georeferencing data processing.

Among the different formats of numerical cartography, three-dimensional maps are certainly the more suitable. These represent a cartographic typology corresponding to different levels of accuracy and details to describe reality, such as DTM and city modelling. They provide geometrical and qualitative information coming from the use of historical documents and present-day aerial and terrestrial photo suitably processed: such as orthophotos mapped onto DTM for a more truthful description of territory.

Data for 3D map production can be acquired by employing the most advanced and outstanding techniques, normally integrated such as digital photogrammetry and laser scanning, both aerial (aircraft or helicopter) and terrestrial survey.

Introduzione

I modelli tridimensionali del territorio e dell'urbanizzato sono entrati ormai nell'uso quotidiano di diverse utenze, specializzate e non. Le rappresentazioni tridimensionali vengono utilizzate con scopi descrittivi nella realizzazione di tour virtuali delle città, nella ricostruzione, più o meno affidabile, di parti di città e nella progettazione di nuovi quartieri e nuove città. Altre volte i modelli vengono utilizzati per studi di dettaglio come la propagazione di onde elettromagnetiche, la gestione di eventi naturali e non, studi valutazione di impatto ambientale ed analisi urbanistiche in generale.

Fino a qualche anno fa il modello tridimensionale era utilizzato solamente per la comprensione della geometria. E così gli studi si sono concentrati sulle fasi di realizzazione del modello solido sia per individuare le procedure più rapide sia per individuare quelle più precise.

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 fornissero delle informazioni supplementari. Tutto ciò è possibile grazie all'integrazione dei dati vector – il modello geometrico – con dati raster – in particolare la rappresentazione fotografica del territorio e del costruito. In questo modo è possibile attribuire ad ogni elemento una serie di significati derivanti dalle texture applicate, siano queste immagini fotografiche della realtà o mappature tematiche.

Questa possibilità, ha però mostrato alcuni limiti connessi soprattutto con la gestione informatica del modello così realizzato: la consistente occupazione di memoria non ne consente un utilizzo agile da parte dell'utente.

Si è inoltre ragionato sul rapporto che lega la precisione del modello, strettamente connessa alla scala del rilievo, con l'accuratezza della texture utilizzata per mapparlo. 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. In risposta a queste osservazioni sono nati i modelli multiscala, ossia modelli che possono essere utilizzati a diverse scale nominali di rappresentazione. In tali modelli 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.

1 Dati iniziali

In questo articolo si descrive la fase di costruzioni dei modelli mappati multiscala, come 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, è 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.

1.1 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, con un'incertezza di 10 cm. Essendo realizzata da un volo fotogrammetrico del 1981, essa non contiene informazioni altimetriche se non quelle riferite al piano di calpestio. Per questo motivo 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, utilizzato come controllo degli elementi di copertura

1.2 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 (superiore ai 100.000 punti/sec), da una precisione decimetrica e da una notevolissima densità di acquisizione di punti (fino a 10-20 punti al metro quadrato).

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, definiti in fase di progettazione delle "strisciate", 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 la ampiezza angolare della scansione. La combinazione di questi valori determina la densità di campionamento e influenza in modo decisivo la produttività del rilievo, il rischio di occlusioni prospettiche e la variabilità di precisione del posizionamento dei punti.

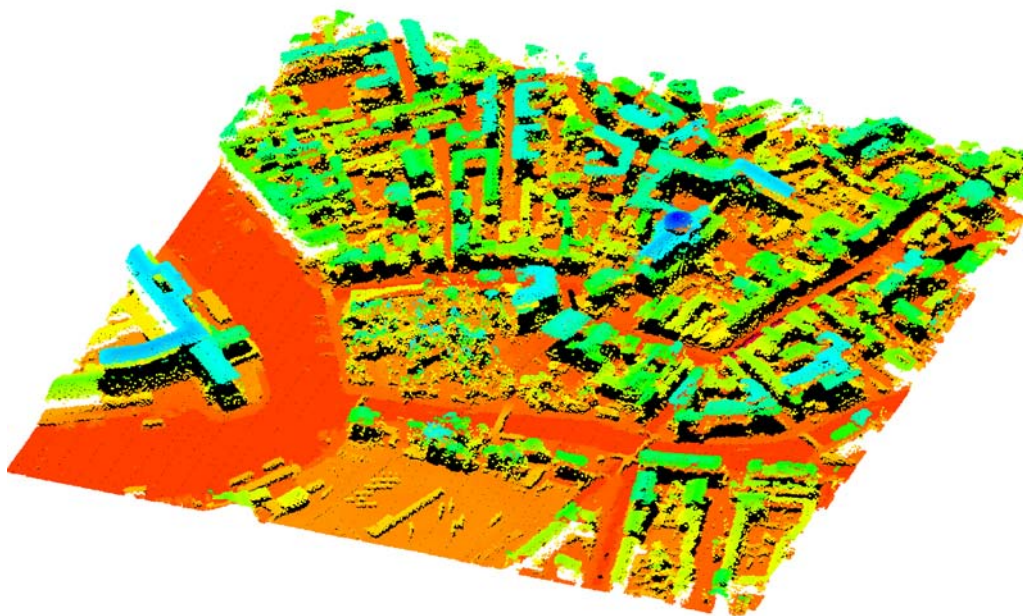


Figura 1 Nuvola di punti laser, toposys

Dopo la fase di acquisizione le operazioni necessarie sono quelle di georeferenziazione di ogni singola strisciata mediante una opportuna combinazione di rotazioni e traslazioni tridimensionali e di allineamento delle strisciate. In questo modo si può georeferenziare direttamente il generico punto acquisito rispetto ad un sistema di riferimento globale (WGS84 o cartografico), in quanto istantaneamente misurati la posizione e la rotazione sia del sistema di riferimento del laser sia dei sensori inerziali rigidamente fissati a bordo.

Nel caso del test fatto a Venezia la scansione, realizzata nel 2002 dalla Compagnia di Riprese Aeree, è stata realizzata mediante un sensore Toposys, montato su elicottero, che ha acquisito punti con una densità spaziale di 1 punto per metro quadro con un'incertezza di circa ± 0.5 m. La nuvola di punti è stata poi georeferenziata nel sistema WGS84.

1.3 Laser terrestre

Il laser-scanner in dotazione al Laboratorio di Fotogrammetria IUAV-Circe è il modello LMS-Z360i della Riegl 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. Lo strumento è un'ottima combinazione di mezzi ottico-

elettronici atti a ricreare dei modelli di superficie tridimensionali in breve tempo e anche a distanze elevate di scansione.

Una delle caratteristiche più interessanti introdotte dalla Riegl 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.

Per poter ottenere dei valori RGB accurati e con risoluzione spaziale elevata, la Riegl ha assemblato in modo solidale al laser-scanner una fotocamera digitale pre-calibrata (Nikon D100 con ottica 20mm). Questa fotocamera si configura in pratica esattamente come un fototeodolite in quanto è possibile registrare direttamente la posizione e l’orientamento di ogni singolo scatto nel sistema di riferimento laser-scanner. Sono infatti noti da calibrazione i 6 parametri (3 rotazioni e 3 traslazioni) che permettono il passaggio dal sistema scanner al sistema camera.

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.

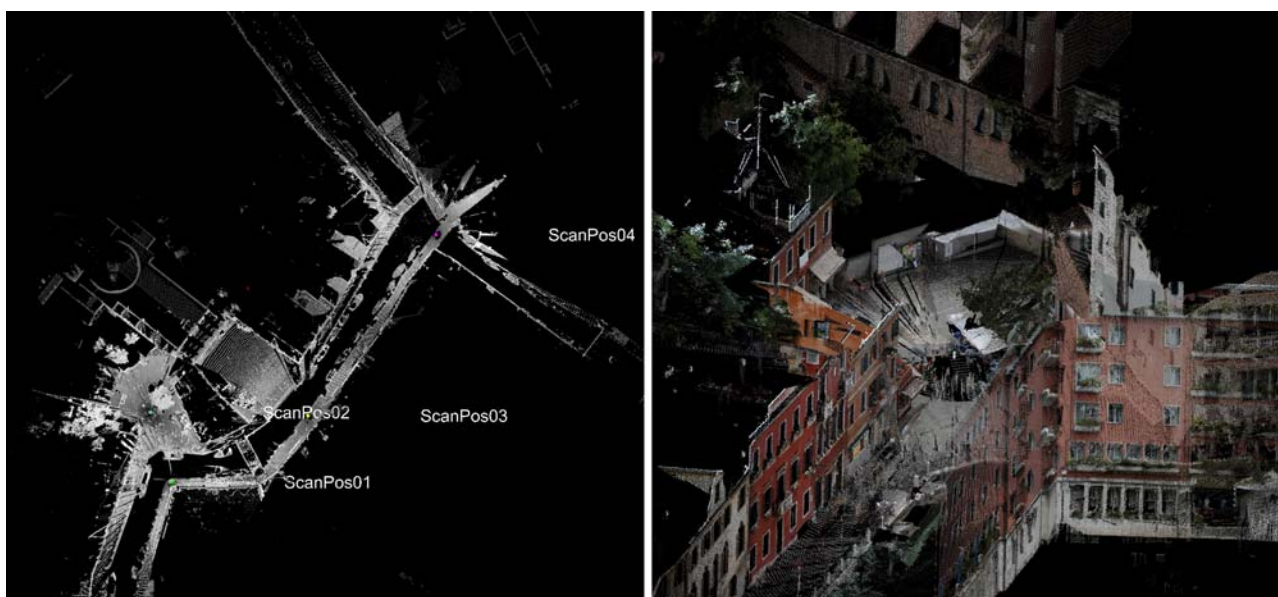


figura 2: scansioni laser terrestri, vista zenitale e vista assonometrica di dettaglio

La rumorosità dello strumento ($\pm 1\text{cm}$ nella determinazione della distanza) è sicuramente 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. Nelle aree di maggior interesse le scansioni sono state fatte cercando di assicurare la maggiore ortogonalità alla superficie, accorgimento necessario per la riduzione del noise nella nuvola, oltre che un’omogenea distribuzione dei punti.

Per la ricostruzione del city model di una parte di Venezia le scansioni sono state realizzate da 5 diversi punti di stazione con un passo in partenza del raggio laser pari a 0.08° . Ogni singola scansione è composta da circa 5 milioni di punti. Al termine della registrazione delle diverse scansioni, avvenuta con un sqm di $\pm 6\text{ mm}$, si è ottenuta una nuvola di circa 25 milioni di punti.

1.4 Prese fotografiche

Le prese fotografiche, che hanno lo scopo di aggiungere informazioni descrittive rispetto al modello geometrico, sono state realizzate con diverse camere fotografiche digitale sulle quali sono state montate ottiche precalibrate. In particolare per il sistema RIEGL è stata utilizzata una fotocamera Nikon D100 con un sensore da 6 Megapixel, mentre 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.

2 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 nominale e quindi ha implicitamente un valore di incertezza corrispondente alla propria scala nominale.

Cartografia numerica ± 0.1 metri

Dati lidar ± 0.5 metri

Dati laser scanner terrestre ± 0.01 metri

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, per cui 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 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.

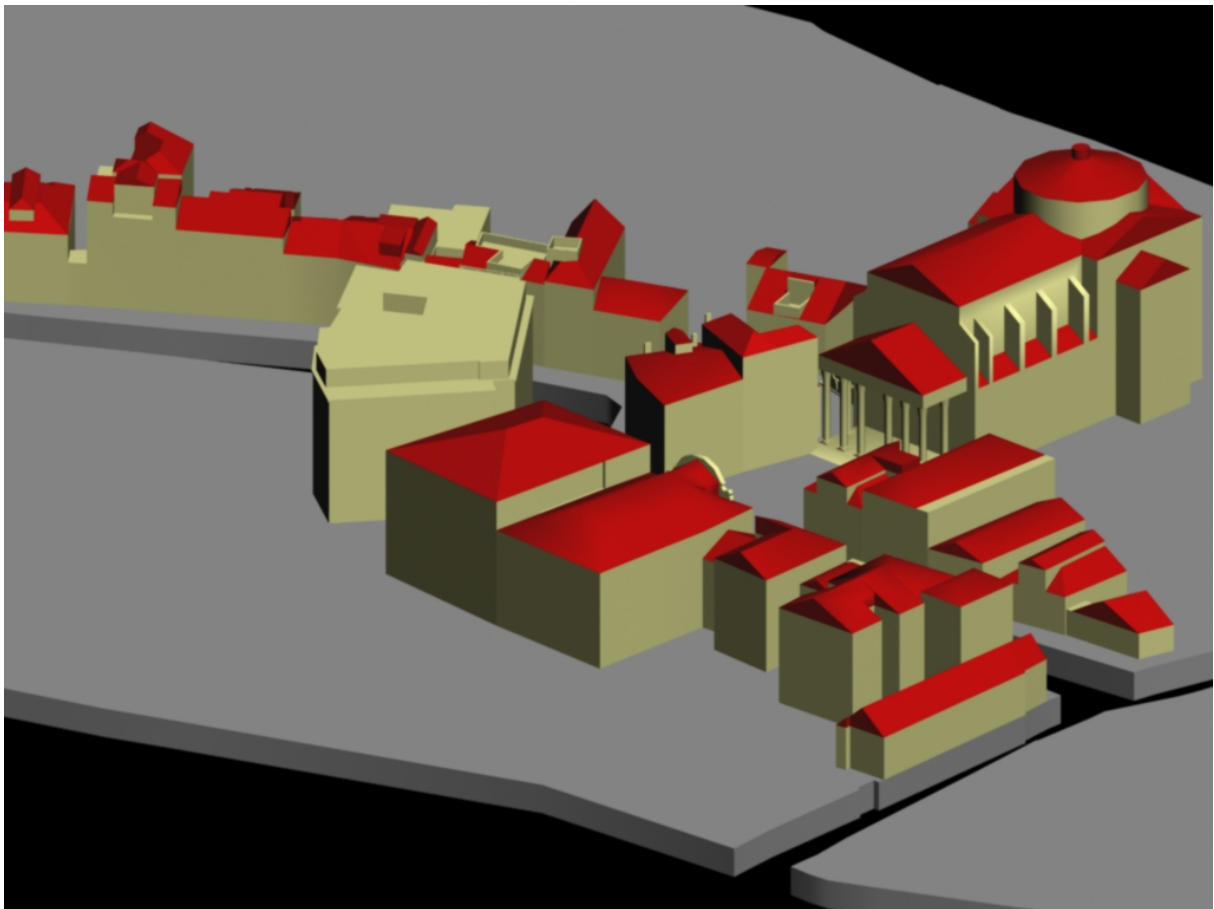


Figura 3: modello tridimensionale dell'area test

Utilizzando i dati sopra descritti, il modello virtuale della città è stata realizzato con le tecniche ormai note della modellazione solida e seguendo un ordine gerarchico. 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 caso evidente è legato alla modellazione della Chiesa di San Nicolò da Tolentino, in quanto la presenza del pronao con il colonnato non si coglie dalla cartografia e dalle scansioni aeree. Data l'importanza della chiesa, come punto di riferimento per l'intera zona, risulta anche in questo caso necessaria la modellazione anche del colonnato. 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 le operazioni booleane, le parti nuove.

3 Modello 3d mappato multiscala

Si è visto in precedenza come il trend attuale sia quello di aumentare il contenuto informativo dei modelli tridimensionali della città, ed 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 (generalmente di modellazione tridimensionale come 3d studio max) che permettono di realizzare nuovi materiali di sintesi con texture come i raddrizzamenti delle facciate, le pavimentazioni o elementi naturali come acqua, terra. Il software attribuisce così ad ogni pixel della superficie del modello, ad esempio 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.

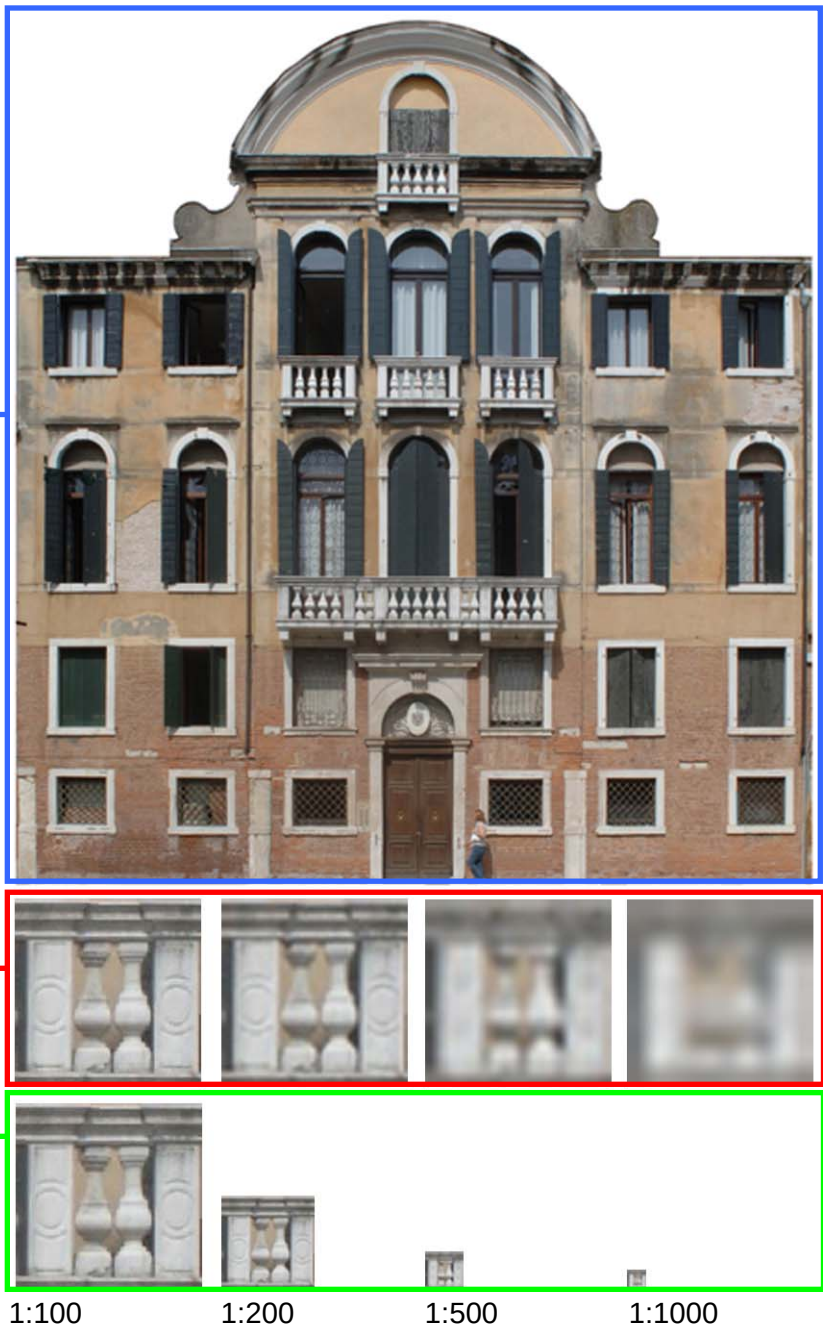
Scala di rappresentazione	Dimensione del pixel
1:100	0.02 m
1:200	0.04 m
1:500	0.1 m
1:1000	0.2 m

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

4 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. Essi si prestano alle normali rappresentazioni statiche, a fil di ferro o renderizzate, dove è possibile cogliere la complessità urbana e gli effetti di eventuali nuovi interventi (controllo di impatto ambientale). Sono maggiormente adatti per quelle rappresentazioni di tipo dinamico che permettono un tour virtuale nella città come le animazioni walkthrough o le simulazioni di volo e le scene di Virtual Reality. 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.

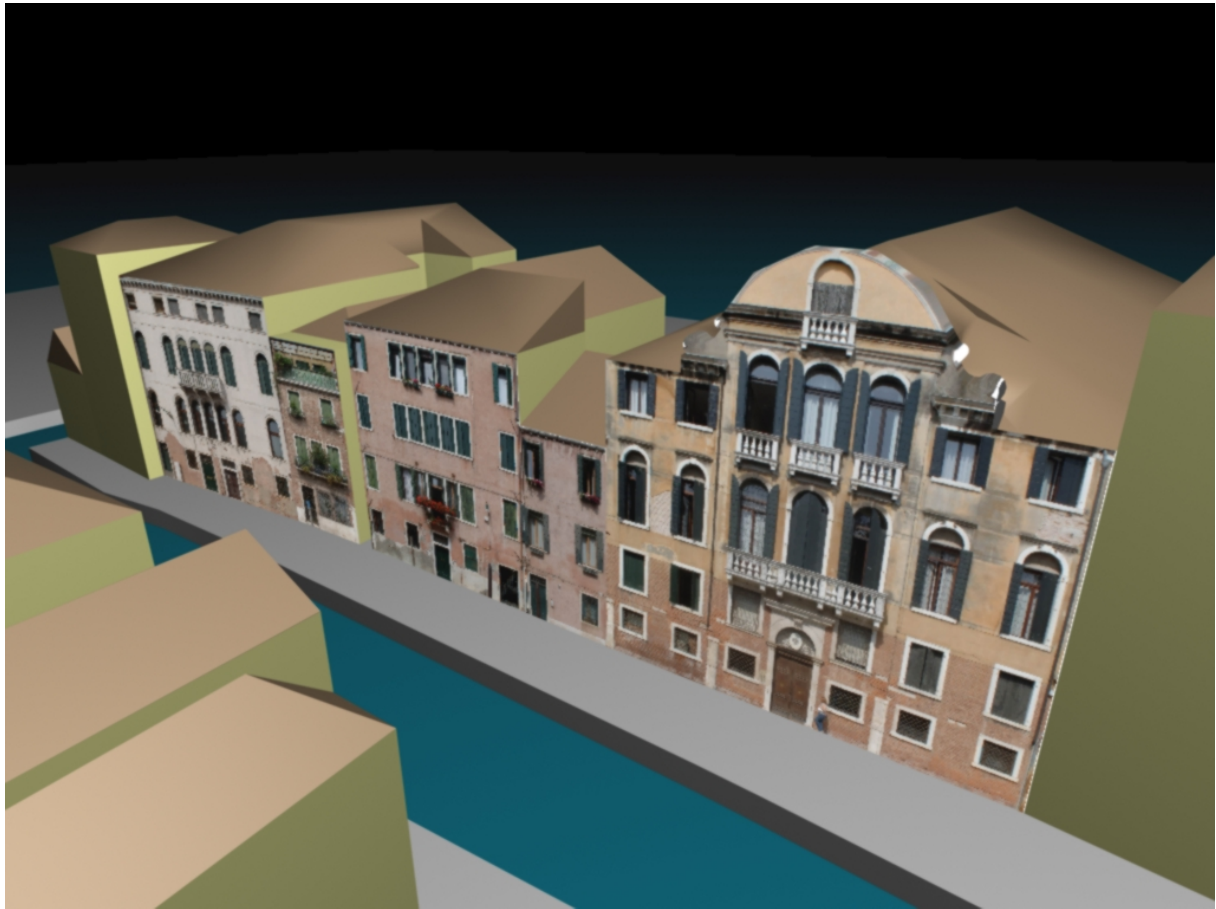


Figura 5: modello tridimensionale mappato con i raddrizzamenti

5 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, Wuhan