

L'ORTOFOTO SOLIDA DI PRECISIONE A GRANDISSIMA SCALA IN AMBITO URBANO

Andrea LINGUA⁽¹⁾, Eros AGOSTO⁽²⁾, Piero DEL BIANCO⁽³⁾

⁽¹⁾ Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell' Ambiente e delle Geotecnologie
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino, Tel:+39.011.564.7700 Email: andrea.lingua@polito.it;

⁽²⁾ S.I.R. (Soluzioni Innovative per il Rilevamento)

c/o I3P C.so Castelfidardo 30/A - 10138 Torino, Tel. 011.564.5123, email: eros.agosto@sir.to.it

⁽³⁾ Benedetti Italo s.r.l., Via Frusa 45/47 - 50131 Firenze (FI)

Tel. 055-570354, email: info@rilievibenedetti.it

Riassunto

Uno degli argomenti che maggiormente ha suscitato e continua a suscitare interesse in campo geomatico, è l'integrazione dei modelli 3D, acquisiti con tecnologia laser scanner o derivanti da cartografia numerica 3D, con immagini digitali di ultima generazione, ad elevata risoluzione. Questo connubio apre infatti nuove prospettive, presentate in numerosi congressi, con applicazioni pratiche già sperimentate e molto apprezzate dagli operatori del settore. Tra questi, la modellazione 3D a colori reali (realtà virtuale), l'ortofoto di precisione e l'immagine solida.

Un prodotto innovativo, nato dall'integrazione di un modello digitale denso di superficie (DDSM) con immagini digitali ad alta definizione, recentemente sviluppato al Politecnico di Torino, è l'Ortofoto Solida di Precisione. In sintesi, si tratta di un'ortofoto di precisione alla quale sono aggiunte le informazioni riguardanti la terza dimensione. Utilizzando l'ortofoto solida di precisione è quindi possibile, semplicemente muovendo sull'immagine il cursore del monitor, visualizzare in tempo reale le coordinate tridimensionali del punto oggetto via via selezionato, effettuare misurazioni tridimensionali (distanze, angoli, dislivelli) e realizzare semplici analisi 3D (sezioni, profili, superfici, volumi, ecc.)

Nel presente contributo si illustra un esempio di ortofoto solida di precisione realizzata in ambito urbano a grandissima scala (1:500 per il Comune di Lainate) evidenziando la metodologia di produzione della stessa mediante generazione del DDSM a partire dalla carta dei tetti.

Abstract

The integration of DDSM geometric data (e.g. point clouds acquired using a laser scanner) with image radiometric data offers a set of new surveying products: e.g. the Solid Image and the True Orthophoto. A new innovative concept, born from the integration of a DDSM with high quality digital images, recently developed at the Politecnico di Torino, is the Solid True Orthophoto.

The Solid True OrthoPhoto (STOP) can be used in many surveying applications to determine, in real time, the position of any point in a 3D reference system, using a normal PC or to carry out correct three-dimensional measurements (lines, areas, volumes, angles, ...), by just selecting some points on the image. In addition, with the Solid Image, even unskilled users can easily plot profiles, sections and plans using simple drawing functions, and can generate stereo models and realistic 3D models. A large scale map in urban application of these new surveying techniques is shown.

Introduzione

Le tecniche informatiche hanno rivoluzionato negli ultimi decenni il modo di intendere il concetto di rappresentazione del territorio, dell'edificato e delle infrastrutture. Secondo una prassi ormai consolidata, la progettazione urbanistica e civile che opera sul territorio, avviene utilizzando

software che permettono di sostituire l'approccio classico con autentici ambienti di sviluppo progettuale e visualizzazione tridimensionali. Tali strumenti richiedono una serie di informazioni approfondite sullo stato attuale della zona studiata al fine di proporre soluzioni progettuali adeguate.

Queste informazioni sono definite mediante operazioni di rilievo e rappresentazione che descrivono correttamente la realtà (fisica) mediante informazioni legate alla sua forma (intesa in senso metrico), acquisite con una certa scala nominale di rappresentazione (e quindi con un livello di dettaglio e una precisione definiti), vestita con il suo effettivo contenuto materico (colore). In questo modo si realizza un'efficace rappresentazione del territorio comprensiva di tutte le caratteristiche utili al progettista che non può prescindere, per completezza, dalla terza dimensione.

Per quanto tali modelli 3D risultino affascinanti e d'impatto visivo, il loro utilizzo si ferma sostanzialmente all'aspetto documentale mettendo a disposizione dell'utente la possibilità di osservare l'oggetto sullo schermo di un computer, senza poterne interrogare il contenuto metrico (lettura coordinate, misura di angoli, distanze, volumi ecc.), né realizzare semplici restituzioni o inserire commenti e promemoria nello spazio tridimensionale del modello. Tali possibilità sono solamente fornite da complessi e costosi per la progettazione civile ed architettonica che risultano poco adatti per affrontare tematiche di rilevamento.

Non dimentichiamo inoltre che i formati standard (come il VRML) richiedono una mole di dati memorizzati per realizzare questi modelli spesso molto elevata che necessita di PC ad elevate prestazioni per una fluida visualizzazione, limitandone ancora di più la piattaforma di utilizzo.

L'ortofoto di precisione e l'immagine solida

Gli autori (Dequal et al, 2002), nel tentativo di fornire un prodotto che coniugasse il rigore metrico e la rappresentazione fotografica alla semplicità di utilizzo, hanno proposto l'ortofoto di precisione. Essa è un'ortofoto in cui sono corrette tutte le deformazioni prospettiche residue dovute a discontinuità dell'oggetto mediante un modello digitale denso (DDEM = Dense Digital Elevation Model) spesso acquisito con scansioni laser e un approccio multi-immagine (in modo da ricercare l'informazione cromatica delle zone defilate in un'immagine all'interno delle altre immagini dell'intero blocco fotogrammetrico). Questo prodotto è semplicemente visualizzabile mediante PC a basso costo, è immediatamente comprensibile dagli esperti di settore che possono utilizzarla secondo i loro fini. Il limite dell'ortofoto di precisione risiede nel contenuto metrico che è in grado di racchiudere: rigoroso, uniforme su tutta l'immagine (risoluzione costante e precisione definita), ma solamente bidimensionale.

La memorizzazione dell'informazione tridimensionale per mezzo di una rappresentazione in forma di immagine digitale è stata proposta (Bornaz et al., 2003) alcuni anni fa, con il nome di immagine solida: in essa, ad un'immagine digitale classica (prospettica, non ortorettificata, RGB) viene aggiunta una matrice numerica (avente la stessa dimensione e la stessa risoluzione) che contiene l'informazione metrica tridimensionale ottenuta mediante laser scanner terrestre. La visualizzazione dell'immagine solida appare all'utente come una semplice immagine fotografica dell'oggetto rilevato, e pertanto non sono necessarie strumentazioni speciali né addestramenti specifici per essere in grado di interpretarla correttamente. L'informazione tridimensionale nascosta appare solamente quando si muove il cursore all'interno dell'immagine digitale rendendo disponibili, mediante semplici funzioni la misurazione di angoli, distanze aree e volumi e quant'altro.

L'idea dell'ortofoto solida di precisione nasce dall'immagine solida, tentando di colmarne l'unico limite apparente: la visualizzazione prospettica che nasconde la terza dimensione, in certi casi, può trarre in inganno l'operatore in quanto non contiene informazioni sulle zone nascoste e il livello di dettaglio varia in funzione della distanza della porzione di oggetto considerata e il centro di presa dell'immagine fotografica.

L'ortofoto solida di precisione sintetizza i pregi dei due prodotti appena descritti. Essa si configura come la fusione del contenuto metrico bidimensionale e cromatico dell'ortofoto di precisione con il contenuto tridimensionale di un DDEM dell'oggetto rappresentato. La necessità di possedere un

DDEM non costituisce un vero problema, in quanto esso è richiesto per la produzione dell'ortofoto di precisione, e quindi già disponibile come sotto prodotto.

Definizione di ortofoto solida di precisione

L'ortofoto solida di precisione (OSP) è definita come una ortofoto di precisione alla quale viene aggiunta una matrice contenente l'informazione ottenuta dal DDEM, utilizzato per produrla. Sia data un'ortofoto di precisione che per sua natura è correttamente georeferenziata in un sistema di riferimento noto. Si conoscono per esempio:

- Le coordinate (x_0, y_0) nel sistema di riferimento utilizzato del centro del pixel in altro a sinistra dell'immagine, ovvero in posizione (1,1) all'interno della matrice immagine ;
- La dimensione del pixel dell'ortofoto in unità metriche (d) .

Ne consegue che l'individuazione di un pixel in posizione (c, r) all'interno della matrice dell'ortofoto permette di determinarne le coordinate planimetriche, secondo la nota relazione [1].

$$\begin{aligned} x &= x_0 + d * (c - 1) \\ y &= y_0 - d * (r - 1) \end{aligned} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} x &= x_0 + d * (c - 1) \\ y &= y_0 - d * (r - 1) \\ z &= q(c, r) \end{aligned} \quad [2]$$

Sia dato un DDEM memorizzato in forma di matrice bidimensionale $q(i, j)$ e avente passo della griglia pari alla dimensione del pixel dell'ortofoto in unità metriche (d) , dimensioni uguali al numero di righe e di colonne dell'ortofoto e posizione dei nodi coincidente con i centri dei pixel dell'ortofoto associata. Ne consegue che individuare un pixel in posizione (c, r) all'interno dell'ortofoto permette di estrarre una quota $q(c, r)$ nella stessa posizione. E', pertanto, è possibile determinare anche la terza dimensione aggiungendo alla [1] un'equazione molto semplice, ottenendo le relazioni fondamentali dell'ortofoto solida [2]. La figura 1 espone in forma grafica il principio dell'OSP.

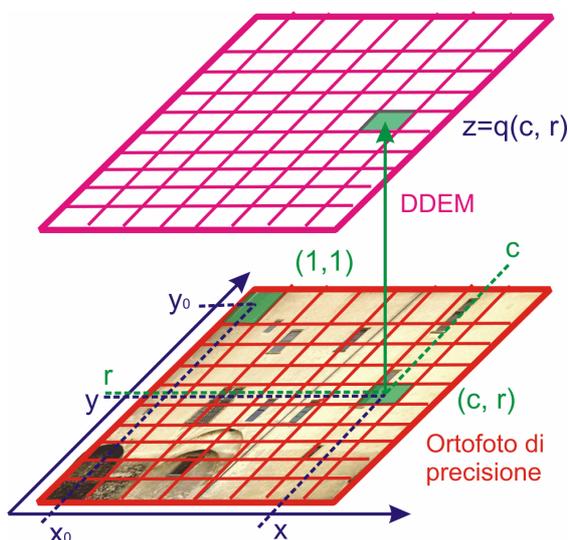


Figura 1 - Il principio dell'ortofoto solida

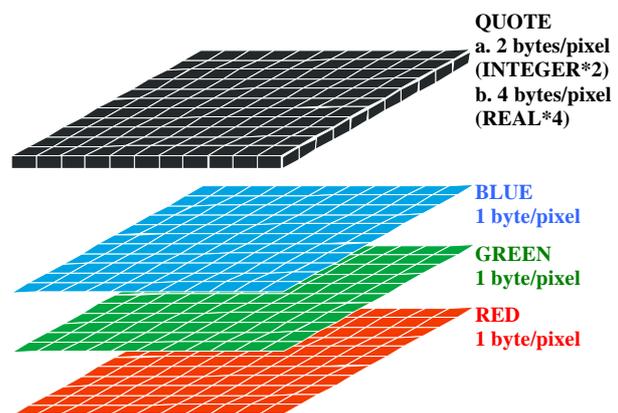


Figura 2 - La struttura dell'OSP

La struttura dell'ortofoto solida

La tradizionale struttura a matrici RGB delle immagini digitali è facilmente integrabile attraverso l'aggiunta di una nuova matrice nella quale sono inserite le informazioni delle quote. In particolare, per ogni pixel di una OSP, è possibile registrare i 3 valori di intensità delle componenti cromatiche fondamentali (RGB, Red, Green, Blue 1 byte ciascuna secondo gli standard sulle immagini digitali in colori veri) per un totale di 3 byte) e un valore di quota derivato dal DDEM espresso in forma numerica.

Gli autori hanno sviluppato un nuovo software (denominato “OSP”) implementato in Visual Fortran con l’ausilio di librerie grafiche specifiche (le GINO Routines) che permette di visualizzare l’ortofoto solida di precisione spostandosi al suo interno mediante funzioni di zoom e pan, di mostrare in tempo reale le coordinate del punto collimato dall’operatore e di interrogare i dati in essa contenuti mediante misura di angoli distanze e dislivelli, determinazione di aree e volumi, generazione di sezioni e profili. Tutte queste funzioni sono semplicissime e non richiedono operatori addestrati rendendo disponibile la tecnologia ad esperti di altri campi per analisi di settore.

L’ortofoto solida di precisione del Comune di Lainate

La ditta Beneditti Italo s.r.l. ha prodotto mediante tecniche fotogrammetriche la cartografia numerica tridimensionale a grandissima scala del comune di Lainate, secondo le moderne specifiche contenute nel capitolato speciale d’appalto relativo. Ha inoltre prodotto la carta dei tetti, visibile in figura 3.



Figura 3 – La carta dei Tetti del Comune di Lainate

Il prodotto aggiuntivo proposto è stata l’ortofoto del centro urbano in scala 1:500, che è stata ottenuta mediante la tecnica di precisione con il software AccOrtho del Politecnico di Torino. Il modello di forma denso (DDEM) è stato generato a partire dalla cartografia numerica tridimensionale e dalla carta dei tetti mediante tecniche raffinate di interpolazione. In particolare, sono state utilizzate le seguenti informazioni presenti nella carta numerica comunale:

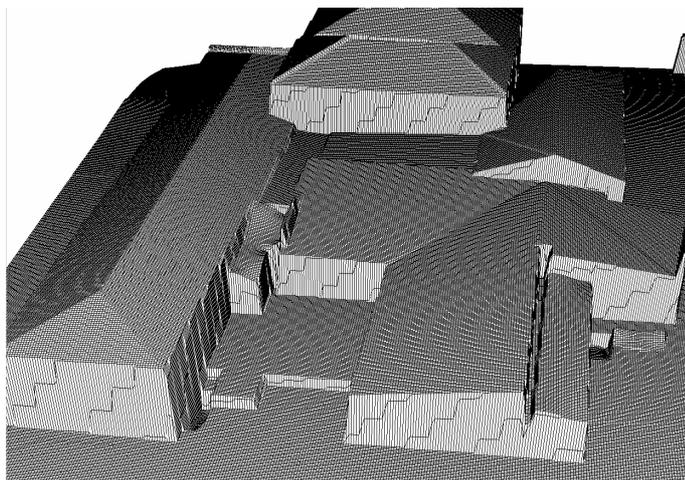


Figura 4 – Una visualizzazione 3D del DDEM

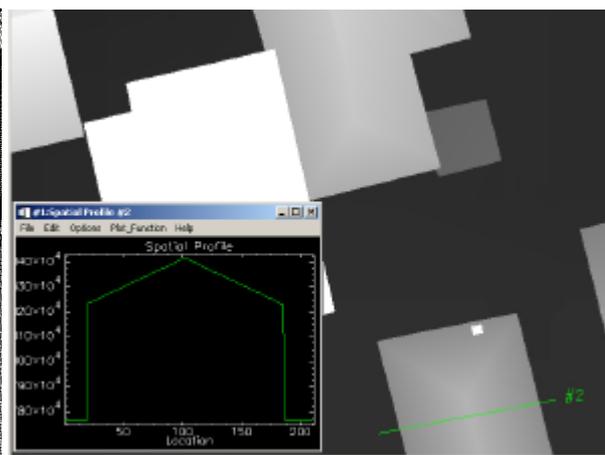


Figura 5 – La corretta descrizione dei tetti

Allo scopo è stato sviluppato un software in linguaggio Compaq Visual Fortran v. 6.6 che a partire dalla cartografia numerica ha permesso di generare il DDEM con risoluzione al suolo di 4 cm. La figura 4 mostra una visualizzazione tridimensionale del DDEM generato da cui si nota il livello di dettaglio raggiunto. In figura 5 è possibile osservarne una porzione de DDEM (visualizzato in toni di grigio dove i toni chiari corrispondono alle quote più elevate) ed una sezione d’esempio che mostra la corretta modellazione dei tetti.

La figura n. 6 mostra un’esempio di ortofoto di precisione ottenuta (1 foglio n. 4) con due zoom successivi su un particolare: si noti il livello di dettaglio raggiunto grazie ad una dimensione del

pixel a terra di 4 cm. Ogni foglio di ortofoto (circa 160 M) è stato prodotto in circa 2 ore di elaborazione su PC standard (Pentium Intel Duo con 2 Gb di memoria).



Figura 6 – Una porzione del foglio n. 4 e due ingrandimenti successivi di un particolare

La fusione di ortofoto di precisione e DDEM ha permesso di produrre l'ortofoto solida di precisione visualizzata con il software OSP (figura 8). La figura 7 mostra alcune funzionalità del software: le funzioni di visualizzazione e di misura. Un semplice file di testo memorizza tutte le interrogazioni che vengono effettuate dall'utente permettendone l'esportazione in altri software di elaborazione dei dati.

Conclusioni

L'ortofoto di precisione permette di ottenere una rappresentazione fotografica metrica del territorio a grandissima scala, anche in zone fortemente urbanizzate. Il modello di forma utilizzato per la sua produzione può essere generato a partire dalla cartografia numerica, meglio se integrata con la carta dei tetti.

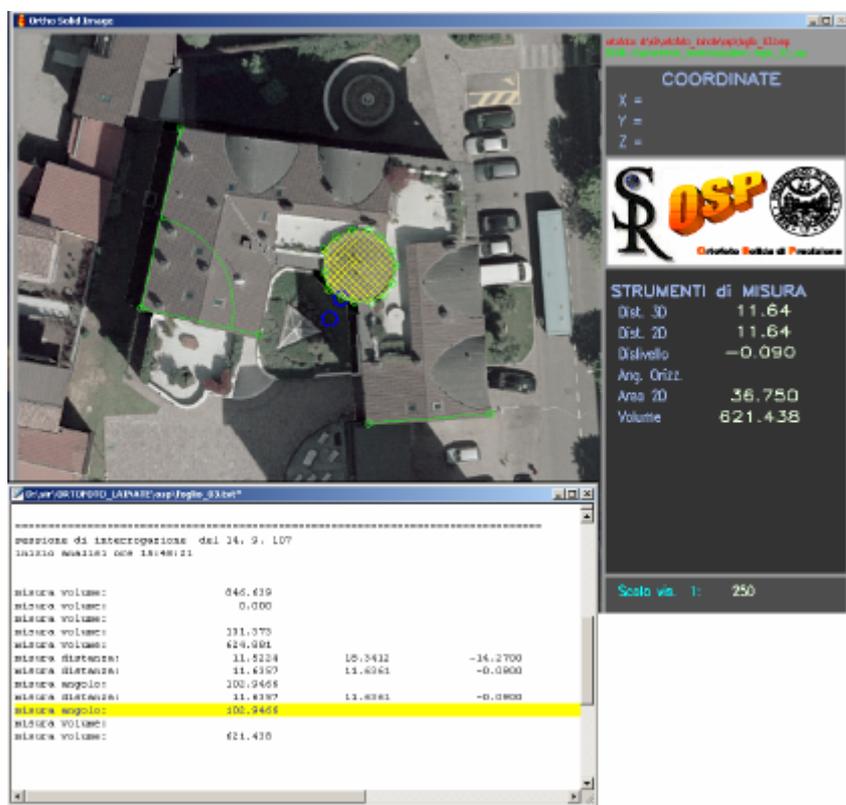


Figura 7. La misura di distanze

La fusione tra ortofoto solida di precisione e il DDEM utilizzato per la sua generazione (l'ortofoto solida di precisione) è una forma di rappresentazione che coniuga in modo efficace, semplice ed economico le informazioni metriche e cromatiche contenute nell'ortofoto rigorosa con il dato tridimensionale derivato da un modello di forma dell'oggetto in forma di DDEM

La sua produzione infatti è interamente automatica e non richiede costi aggiuntivi in quanto

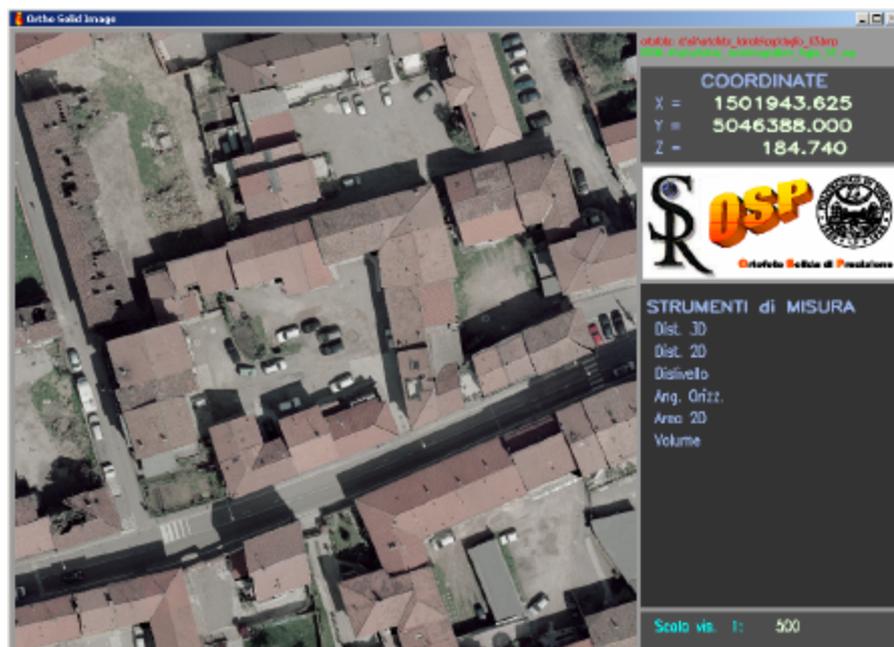


Figura 8. L'OSP del Comune di Lainate (Foglio n. 4)

utilizza il DDEM che è già stato generato per la definizione dell'ortofoto di precisione (è necessaria solamente un po' di elaborazione batch per organizzare i dati in una forma autoconsistente).

L'ortofoto solida di precisione può essere visualizzata mediante il software OSP che fornisce alcuni semplici strumenti per la sua gestione e interrogazione, mettendo a disposizione di utenti esperti in campi differenti dalla geomatica (architetti, restauratori ecc.) un potente strumento di analisi. Lo sviluppo di questo software, per ora ancora allo stato prototipale, permetterà in futuro di realizzare semplici restituzioni dell'oggetto con una connessione diretta con un sistema informativo territoriale o architettonico acquisendo un ulteriore valore aggiunto.

Bibliografia

- Bornaz L., Dequal S., Lingua A., 2006. L'ortofoto solida di precisione: un prodotto innovativo per la rappresentazione e la gestione dei dati tridimensionali. In: Atti Conferenza nazionale SIFET, Taranto
- Dequal S., Lingua A., 2003. True orthophoto of the whole town of Turin. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Antalya (Turchia), Vol. XXXIV, Part 5/C15, pp.: 263-268
- Dequal S., Lingua A., 2001. True orthophoto for architectural surveys. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Postdam (Germania), Vol. 34, Part 5/C7, pp. 269-276.
- Bornaz, L., Dequal, S., 2003. The solid image: A new concept and its applications. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part 6/W12.
- Balletti C., Guerra F., Lingua A., Rinaudo F., 2003. True digital orthophoto of the San Marco Basilica in Venice. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Ancona (Italia), Vol. 34, Part 5/W12, pp. 43-48.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Lainate per i permessi accordatici nello svolgimento del presente studio.