

DENSIFICAZIONE DI DSM LIDAR PER LA CREAZIONE DI TRUE-ORTHOPHOTO: PRIMI RISULTATI CON UN METODO ROBUSTO DI MODELLIZZAZIONE 3D DEGLI EDIFICI

L. Barazzetti, M. A. Brovelli, L. Valentini

Politecnico di Milano, DIAR, piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
(luigi.barazzetti, maria.brovelli)@polimi.it, luana.valentini@mail.polimi.it

RIASSUNTO ESTESO

Negli ultimi anni le ortofoto digitali sono divenute un prodotto sempre più richiesto, spingendo la ricerca verso lo sviluppo di tecniche sempre più raffinate per la loro produzione e cercando contemporaneamente una riduzione dei costi. Generalmente la produzione di ortofoto avviene mediante l'ausilio di DTM, generando così distorsioni significative nell'immagine nelle aree urbanizzate, che risultano tanto maggiori quanto sono elevati gli edifici presenti. Per limitare questo effetto è necessario creare true-ortofoto mediante DSM e immagini da molteplici punti di vista, secondo quanto proposto da Amhar et al. (1998).

La procedura per la creazione di true-ortofoto qui presentata è un perfezionamento della metodologia sviluppata da Barazzetti et al. (2007), basata sulla creazione di DSM LiDAR densi (DDSM) tramite un'interpolazione che tenga in considerazione l'appartenenza dei punti agli edifici o al terreno. Il DSM denso risultante ha una risoluzione dello stesso ordine di grandezza della true-ortofoto che si intende creare. Il nuovo metodo invece prevede la modellizzazione degli edifici mediante superfici semplici (piani), stimate tramite algoritmi robusti (RANSAC) dopo una clusterizzazione dei dati LiDAR puntuali.

I dati LiDAR utilizzati nell'elaborazione sono stati acquisiti dalla compagnia CGR S.p.a. nel 2005 con un Optech ALTM3033, sulla città di Lecco. La densità teorica dei punti è di circa $0.2 - 1 \text{ p.ti/m}^2$ (senza tener conto delle aree di sovrapposizione), mentre la densità reale nell'area considerata è di circa 1.7 p.ti/m^2 . Partendo da questi dati sono stati generati anche il DTM ed il DSM della Regione Lombardia a passo 2 m, utilizzati in seguito per testare i risultati ottenuti con il metodo proposto. Le immagini aeree relative all'area di interesse sono state acquisite nel 2003 con una camera analogica RC30/ASCOT con lente standard (150 mm). L'area è stata coperta da più voli, caratterizzati da diverse quote di volo. In questa elaborazione sono state usate 9 immagini a scala compresa tra 1:4600 e 1:17000. L'area presa in considerazione corrisponde ad una zona industriale della città di Lecco, dove sono presenti edifici adibiti ad uso abitativo ma anche grandi capannoni industriali.

Il metodo per la generazione del nuovo modello digitale degli edifici integra le informazioni cartografiche e territoriali disponibili presso le Pubbliche Amministrazioni, ovvero immagini aeree, DTM/DSM, dati LiDAR e geodatabase, al fine di migliorare l'accuratezza delle ortofoto tradizionali in modo automatico.

Tale metodo prevede una stima più accurata del DSM denso in corrispondenza degli edifici, sfruttando le informazioni derivanti dal geodatabase e dal calcolo dell'*aspect* dei punti giacenti sui tetti esaminati.

Innanzitutto i dati LiDAR puntuali vengono suddivisi in funzione della loro appartenenza agli edifici utilizzando le informazioni del layer "edifici" del geodatabase. Dopo la rimozione dei punti inclusi nell'edificio ma non a livello del tetto (es. punti sulle facciate), i punti dei diversi edifici vengono ruotati lungo la direzione principale dell'edificio stesso. Questo passaggio viene effettuato in modo da poter poi suddividere i valori di *aspect* dei punti in quattro classi, corrispondenti all'orientamento Nord, Sud, Ovest e Est. Utilizzando dei dati reali e in quanto tali affetti da errori, il calcolo delle derivate generalmente ne produce una ulteriore amplificazione durante questo passaggio. Ciò porta ad avere spesso punti classificati sempre in tutte e quattro le classi di *aspect* anche per tetti semplici caratterizzati da una sola esposizione, con una conseguente divisione nei diversi tipi di tetti non semplice per via completamente automatica. Per semplificare questa problematica, in tale fase di studio sono state prese in considerazione solo alcune tipologie di tetti, in particolare:

- tetti a una pendenza;
- tetti piani;
- tetti a due falde.

La prima tipologia è caratterizzata dall'aver una classe di *aspect* contenente più del 50% dei punti; per i tetti piatti invece la suddivisione in classi non è significativa e risulta più utile porre l'attenzione sulle altezze dei punti: se la differenza tra il 75° e il 25° percentile è inferiore a 0.5 m si può supporre che il tetto sia piano.

Nella categoria tetti a due falde vengono analizzati sia i tetti a due falde semplici che i tetti 'a dente di sega', in quanto anch'essi caratterizzati da due classi di *aspect*. La famiglia dei tetti a due falde necessita di un'ulteriore rimozione dei punti sparsi al fine di poter suddividere i punti nei diversi piani e poterli poi interpolare correttamente, specialmente per i tetti 'a dente di sega'. Per questo motivo, i punti nelle diverse falde vengono clusterizzati gerarchicamente per mezzo dell'algoritmo AGNES (*AGglomerative NESTing*, Kaufman et al., 1990). Considerando una singola classe di *aspect* per un semplice tetto a due falde si ottengono due cluster, uno contenente i punti sulla falda e l'altro contenente i punti giacenti sul bordo della falda opposta (effetto al bordo, rimosso nelle fasi successive apponendo una soglia all'algoritmo di interpolazione); per un tetto 'a dente di sega' i punti vengono suddivisi in tanti cluster quante sono le sezioni

triangolari del tetto stesso. Suddivisi i punti nei diversi cluster si può applicare un appropriato algoritmo di interpolazione robusta per ottenere il modello dei tetti considerati.

Per ogni edificio è possibile ottenere le coordinate dei vertici direttamente dal geodatabase disponibile e utilizzare gli estremi dei cluster come limiti dei diversi piani. Ruotando tali coordinate limite per essere consistenti con i punti utilizzati, si può creare una griglia regolare a passo denso (20 cm in questo caso). Utilizzando poi i parametri stimati con l'algoritmo RANSAC (Fischler e Bolles, 1981) è stato costruito un modello 3D per tutti i tetti considerati. In figura 1 vengono riportati degli esempi per le diverse tipologie di tetti.

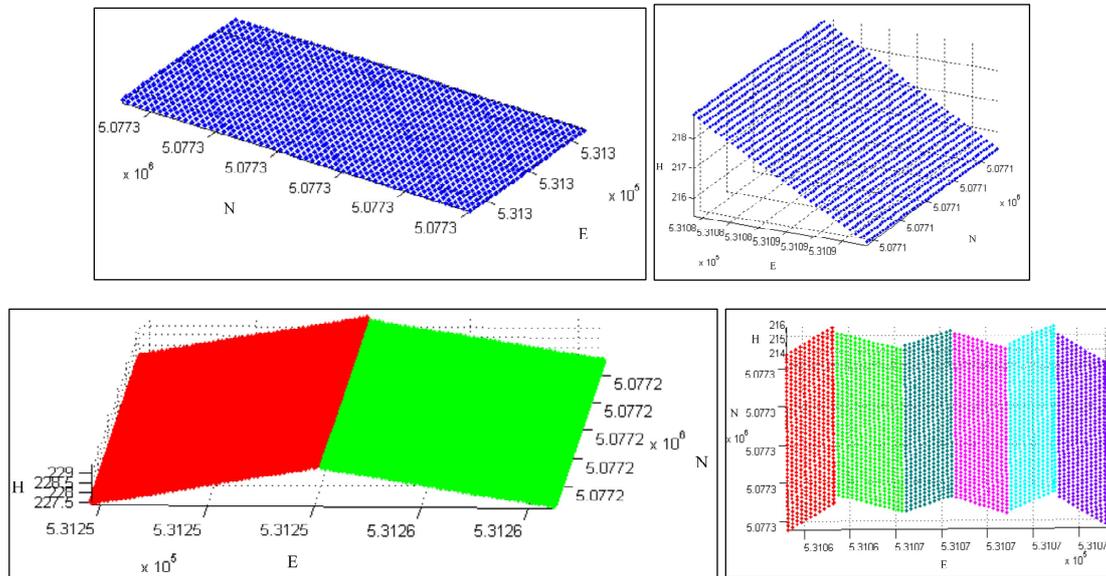


Figura 1 – Esempi di modelli dei tetti per le diverse tipologie considerate.

A questo punto si possono unire le informazioni del DTM in corrispondenza del terreno (e degli edifici non presi in considerazione) e i nuovi modelli costruiti per ottenere un DSM denso che tenga conto della presenza degli edifici. Per avere un modello a risoluzione uniforme è necessario ricampionare il DTM con passo 20 cm. Per mezzo di due maschere raster *terreno* ed *edifici*, è quindi possibile utilizzare le quote contenute nel DTM per il ricampionamento del solo terreno ed il modello generato per gli edifici considerati per la modellizzazione del singolo edificio identificando il suo perimetro con una accuratezza di 20 cm. In figura 2 viene riportato il modello finale.

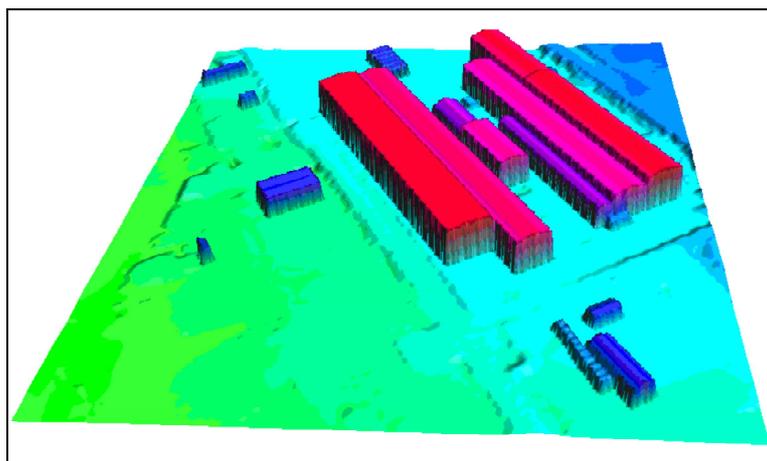


Figura 2 - Modello degli edifici considerati.

Tutti gli altri edifici nell'area considerata sono stati invece modellizzati con il metodo proposto da Barazzetti et al. (2007), che permette di modellizzare anche tetti dalla geometria più complicata e per via completamente automatica. In figura 3a sono riportate le maschere utilizzate per la modellizzazione mediante segmentazione robusta (giallo) dei dati LiDAR e mediante raffittimento del DSM (rosso), sovrapposte al DTM a passo 2 m. Nella figura 3b è invece riportato il modello denso a passo 20 cm creato mediante l'uso sequenziale dei due metodi proposti.

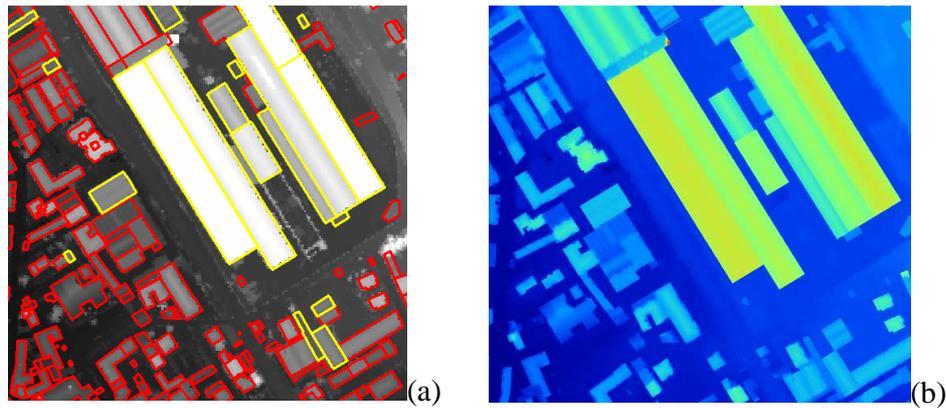


Figure 3a e 3b – Le maschere degli edifici per i due metodi (a) sovrapposte al DTM (passo 2 m) e il DSM denso creato (passo 20 cm).

Per l'ortorettificazione delle immagini è stato utilizzato il software Menci Z-Map, capace di generare true-ortofoto e negli esempi seguenti verranno riportati alcuni risultati ottenuti. Come previsto, se nel processo di ortorettificazione viene utilizzato solo il DTM LiDAR a disposizione a passo 2 m, l'ortofoto risultante non è consistente con il geodatabase (più di 14 m di spostamento per un edificio alto 23 m, figura 4). Tali spostamenti rimangono invariati anche qualora la risoluzione del DTM venga aumentata a 20 cm, in quanto si tratta di un semplice ricampionamento che non introduce modifiche nel prodotto finale in termini di accuratezza.



Figura 4 - Esempio di spostamento ottenuto nell'immagine finale a causa dell'uso di un DTM.

Se, invece, viene adottato come modello il DSM a passo 2 m, il risultato finale sarà privo di spostamenti ma si verificano problemi in prossimità delle *breaklines* a causa della diversa risoluzione tra il DSM (2 m) e l'immagine (20 cm) (figura 5). Infatti, un DSM presenta valori di quota intermedi laddove risultino presenti delle discontinuità. Nel caso considerato, il DSM in corrispondenza della linea di gronda ha una quota compresa tra quella del terreno e quella del tetto. Oltre al problema sulle quote, è inoltre necessario considerare anche la differente risoluzione spaziale del DSM, che permette di individuare il perimetro del tetto con un'accuratezza di 2 m, ovvero non sufficiente per produrre una true-ortofoto. Di conseguenza, non si può utilizzare direttamente un DSM per la creazione di true-ortofoto, poiché si ottengono dei risultati visivamente peggiori di quelli ottenibili usando il DTM, anche se la precisione del prodotto finale risulta superiore.



Figura 5 - Effetto ondulato al bordo degli edifici causato dall'utilizzo di un DSM.

Il metodo sviluppato permette invece un affinamento del modello in modo da considerare le *breaklines* (perimetri degli edifici). È quindi possibile creare una griglia densa contenente informazioni riguardanti la posizione planimetrica dei tetti con accuratezza pari a 20 cm e, quindi, comparabile con l'accuratezza della true-ortofoto. Con tale modello i tetti degli edifici sono forzati all'interno del geodatabase e l'effetto ondulato al bordo viene significativamente limitato. In figura 6 si riporta un confronto tra l'immagine ottenuta utilizzando il metodo proposto, basato sulla modellizzazione degli edifici semplici con un modello rigoroso, e degli edifici più complessi mediante l'infittimento del DSM considerando l'appartenenza dei punti al terreno o agli edifici. È possibile verificare che col metodo proposto tutti gli edifici analizzati sono correttamente rappresentati. Interessante appare anche la leggera ondulazione in corrispondenza dell'edificio di nuova costruzione, ovvero presente nel geodatabase e nel DDSM, ma antecedente alla ripresa delle immagini aeree.

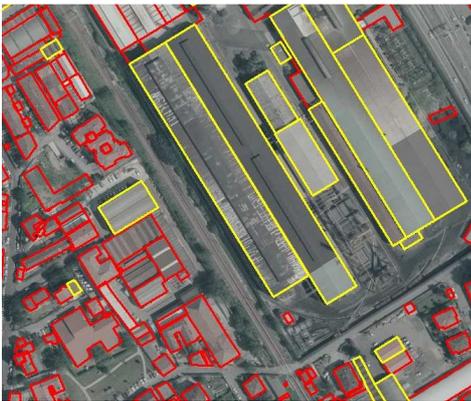


Figura 6 - True-ortofoto dell'area considerata ottenuta con il metodo sviluppato.

In figura 7 vengono riportati alcuni dettagli dell'ortofoto ottenuta con il metodo proposto, nei quali si può fare un confronto tra gli edifici modellizzati con il nuovo metodo e il precedente. Come si può notare i risultati conseguiti col nuovo metodo sono migliori: in alcuni casi qualche pixel non viene correttamente rappresentato e sono visibili dei vuoti nell'immagine finale, ma questo effetto può probabilmente essere attribuito alla creazione del mosaico nelle aree occluse, mentre l'ortorettificazione delle singole immagini risulta corretta. Le differenze principali si verificano in prossimità delle *breaklines*, che risultano migliori per gli edifici modellizzati con il nuovo metodo, generando brodi privi di ondulazioni.

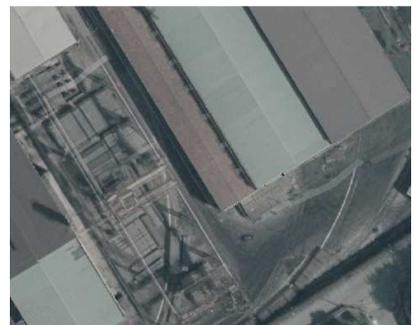
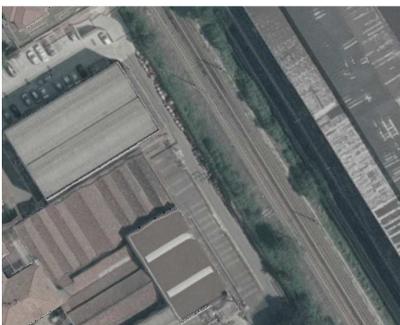


Figura 7 – Alcuni risultati ottenuti con il metodo proposto.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Comune di Lecco, la Regione Lombardia e Blom CGR S.p.a. per aver fornito il geodatabase, i dati LiDAR grigliati e puntuali e le immagini aeree. Si ringrazia inoltre Daniele Bianchini (Menci Software S.r.l.) per il supporto tecnico offerto.

BIBLIOGRAFIA

Amhar, F., Jansa, J., Ries, C., 1998. The Generation of the True-Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction With a Conventional DTM. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32(4), pp.16-22.

Barazzetti, L., Brovelli, M., Scaioni, M., 2007. Problems related to the generation of true-orthophotos with LiDAR DDSMs. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, pp. 20-25.

Fischler, M. A., Bolles, R. C., 1981. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *Communications of the ACM*, Vol. 24, pp. 381–395.

Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990. *Finding Groups in Data. An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley & Sons, New York, pp. 199-252.