

Valutazione dell'accuratezza del DSM estratto da una stereo coppia WorldView-1

Mattia Crespi (*), Gabriele Colosimo (*), Francesca Fratarcangeli(*), Karsten Jacobsen(**),
Francesca Pieralice(*)

(*)DITS – Area di Geodesia e Geomatica – Sapienza Università di Roma, via Eudossiana, 18 – 00184 Rome, Italy,
<mattia.crespi,gabriele.colosimo,francesca.fratarcangeli,francesca.pieralice>@uniroma1.it

(**) Institute of Photogrammetry and Geoinformation -Leibniz University-Hannover, Germany
jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Riassunto

L'obiettivo di questo lavoro è la valutazione dell'accuratezza di un Modello Digitale della Superficie (DSM), estratto da una stereo coppia acquisita in modalità *in-track* dal satellite ad alta risoluzione WorldView-1 (risoluzione spaziale 0.50 m), lanciato nel Settembre 2007.

Lo studio è stato svolto su una stereo coppia dell'area di Augusta (Sicilia - Sud Italia) acquisita nel Giugno 2008.

L'orientamento della stereo coppia è stato effettuato utilizzando sia il software commerciale PCI Geomatica *OrthoEngine* v. 10.2, che il software scientifico SISAR, sviluppato presso l'Area di Geodesia e Geomatica della Sapienza Università di Roma.

Il matching e l'estrazione del DSM sono stati eseguiti con il software commerciale PCI Geomatica, e con il software scientifico BLUH sviluppato dal Prof. Jacobsen dell'Università di Hannover.

Al fine di valutare l'accuratezza del DSM estratto, sono stati effettuati confronti con un significativo numero di *Check Point* - CP acquisiti con rilievi GPS in modalità cinematica, con un'accuratezza media 3D compresa tra 0.3 e 0.5 m.

Inoltre il DSM è stato confrontato con un DSM precedentemente estratto da una stereo coppia acquisita dal satellite ad alta risoluzione QuickBird (risoluzione spaziale 0.60 m), per valutare le potenzialità della nuova piattaforma per la produzione di modelli digitali del terreno rispetto ai prodotti già esistenti sul mercato.

I confronti sono stati eseguiti globalmente e localmente su zone ristrette, scegliendo diverse tipologie di morfologia e di copertura del terreno, al fine di investigare su come tali fattori possano influenzare l'accuratezza media estraibile dal DSM.

Abstract

The goal of the work is to evaluate the accuracy of Digital Surface Models (DSMs) extracted from a WorldView-1 in-track Basic Stereo imagery. WorldView-1, launched September of 2007, allows to acquire in-track panchromatic stereo with a resolution of 50 cm.

The investigation has been carried out on a stereo pair acquired over the Augusta area (Siracusa, Southern Italy) on 20 June 2008.

The orientation has been performed both with the commercial software PCI Geomatics v. 10.2, and scientific program systems SISAR, developed by Sapienza University of Rome.

Image matching and DSM extraction have been performed both with the commercial software PCI Geomatics v. 10.2, and scientific program systems BLUH, developed Prof. Jacobsen Leibniz University of Hannover

The DSM accuracy is evaluated by sample comparisons, based on a significant number of Independent Check Points (ICP) with a mean 3D accuracy of 0.3 - 0.5 m, collected by kinematic GPS.

The DSMs generated are compared also to the DSM extracted in a previous investigation from Quickbird stereo panchromatic model (Basic Stereo Products type, resolution 60 cm) covering the same area, in order to evaluate the capability of the new sensor to generate DSM compared to the others available products.

The comparisons are carried out globally and locally on small areas with different morphology and land cover types were devoted to assess their dependency on DSM mean accuracy.

Introduzione

I modelli digitali del terreno sono ormai di fondamentale importanza per il loro utilizzo in diverse applicazioni, come la produzione di ortofoto, *change detection* spaziale e temporale, analisi spaziali, visualizzazione dei dati. Le tecniche per l'acquisizione del dato altimetrico sono varie: rilievi lidar, rilievi satellitari (ad esempio DEM disponibili da missioni *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM o ASTER), fotogrammetria aerea. L'estrazione di DSM da stereo coppie satellitari ad alta risoluzione si presenta come un'alternativa molto vantaggiosa, grazie alla semplicità di acquisizione dei dati e alla disponibilità di numerosi software commerciali e di algoritmi in grado di estrarre modelli digitali 3D.

Grazie ai satelliti ad alta risoluzione lanciati in orbita nell'ultimo decennio i prodotti estratti da stereo coppie satellitari raggiungono accuratteeze elevate, confrontabili con quelle relative a prodotti estratti con rilievi aereo fotogrammetrici.

In particolare, QuickBird e il recentissimo WorldView-1, rispettivamente con una dimensione del pixel a terra di 0.60 m e 0.50 m, hanno una ottima potenzialità grazie alla loro elevata risoluzione spaziale.

Generalmente è consigliabile estrarre i DSM da stereo coppie satellitari acquisite in modalità *along-track*, cioè acquisite durante lo stesso passaggio orbitale, piuttosto che in modalità *across-track*, cioè acquisite durante differenti passaggi orbitali. Infatti nella prima modalità di presa sono sensibilmente ridotti gli effetti di variazione radiometrica dovuti alle diverse condizioni di illuminazione e ai cambiamenti della copertura del suolo, permettendo di avere un maggiore successo di correlazione durante il processo di *matching* (Toutin, 2000).

In questo lavoro è stata posta l'attenzione sulle possibilità di estrarre DSM da immagini acquisite dal nuovo satellite ad alta risoluzione WorldView-1, per valutare le potenzialità di questo sensore rispetto ai prodotti finora disponibili sul mercato. In particolare il DSM WorldView-1 è stato confrontato con un DSM precedentemente estratto da una stereo coppia QuickBird, la cui accuratezza è di circa 2.5 m (Crespi et al., 2006).

Per valutare la qualità del prodotto ottenuto è stata condotta un'analisi confrontando il DSM con le quote ottenute da un rilievo GPS cinematico, valutando l'accuratezza sia in zone differenti per morfologia e copertura di suolo, sia a livello globale (Baiocchi et al. 2005).

La prima parte del lavoro è dedicata a considerazioni riguardanti l'orientamento della stereo coppia WorldView-1, eseguito sia con il software commerciale *OrthoEngine* che con il software scientifico SISAR, sviluppato presso l'Area di Geodesia e Geomatica dell'Università di Roma Sapienza (Crespi et al., 2008).

La seconda parte è invece dedicata alla fase di estrazione del DSM e alla valutazione della sua accuratezza, attraverso i confronti con i CP relativi alla traccia cinematica e con il DSM estratto dalla stereo coppia QuickBird.

Le stereo coppie QuickBird e WorldView-1

Le due stereo coppie, acquisite in modalità *in-track* rispettivamente dal satellite QuickBird e da nuovo satellite WorldView-1 (in orbita da Settembre 2007), coprono la stessa area della città di Augusta (Sicilia - Sud Italia). Le caratteristiche delle immagini sono riassunte in Tabella 1.

Data l'elevata estensione delle immagini acquisite dal sensore WorldView-1 (aree di copertura: 19x24 Km² – circa 5 GB di dati) ogni strisciata è stata divisa in due *tiles* e ogni *tile* è stato orientato sia con il modello rigoroso di Toutin implementato nel software commerciale PCI-Geomatica

OrthoEngine v. 10.2 (Toutin, 2004) che con il modello rigoroso implementato nel software scientifico SISAR, sviluppato presso l'Area di Geodesia e Geomatica - Sapienza Università di Roma (Crespi et al., 2009). L'orientamento è stato eseguito utilizzando 13 dei 32 *Ground Control Points* – GCP uniformemente distribuiti sull'immagine e acquisiti con rilievi GPS in modalità RTK con accuratezza media dell'ordine di 0.1 m.

Sensore		Dta di acquisizione	GSD [m]	Off-nadir (°)	Modalità di scansione	Area (Km x Km)	GCP
QuickBird	I	06/01/2004	0.77	29.2	Forward	21x20	39
	II		0.75	28.2	Forward	20x19	39
WorldView-1	I	20/06/2008	0.55	18.4	Forward	19x24	32
	II		0.56	20.3	Reverse	19x24	32

Tabella 1. Data set

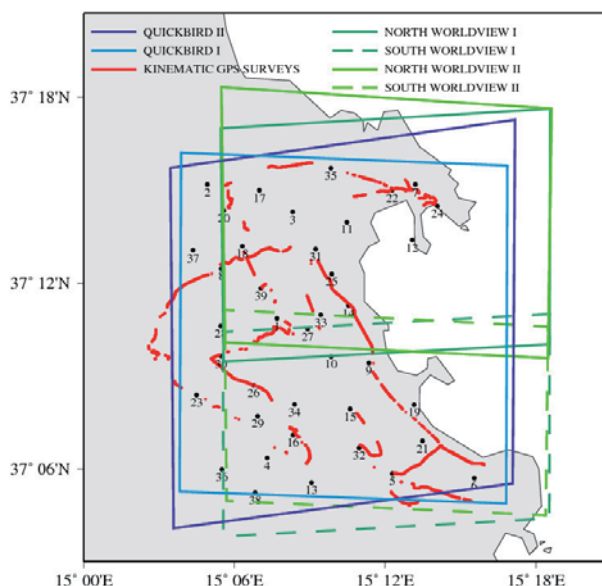


Figura 2 Stereo coppia, e sua copertura, distribuzione dei GCP e dei rilievi GPS cinematici

I risultati dell'orientamento, riportati in Tabella 3, mostrano ottime accuratezze ottenute con il software SISAR paragonabili a quelle ottenute con PCI - Geomatica *OrthoEngine* per quanto riguarda l'immagine Worldview-1 I mentre per l'immagine Worldview-1 II *OrthoEngine* mostra accuratezze peggiori nella componente Nord, dovute probabilmente a un'errata modellizzazione della modalità di acquisizione delle immagini. In particolare le due strisciate sono state acquisite una in modalità “Forward” ossia da Nord a Sud e l'altra in modalità “Reverse” ossia da Sud a Nord.

13 GCP 19 CP	RMSE GCP				RMSE CP			
	Worldview I		Worldview II		Worldview-1 I		Worldview-1 II	
	N[m]	E[m]	N[m]	E[m]	N[m]	E[m]	N[m]	E[m]
OrthoEngine	0.41	0.47	2.11	0.98	0.76	0.77	2.26	1.01
SISAR	0.36	0.38	0.61	0.37	0.67	0.45	0.70	0.44

Tabella 3. Risultati dell'orientamento delle immagini singole acquisite da WorldView-1

Allo scopo di minimizzare questo errore le due stereo coppie sono state orientate separatamente con il software PCI - Geomatica *OrthoEngine* ottenendo un'accuratezza in altimetria dell'ordine del

metro per la stereo coppia Nord e dell'ordine dei 3 m per la stereo coppia Sud mentre unico è il risultato ottenuto con il software SISAR poiché l'orientamento è stato eseguito sulle immagini unite (Tabella 4).

RMSE CP					
SISAR					
	# GCP	# CP	N[m]	E[m]	UP[m]
Stereo coppia unita	13	19	0.58	0.39	0.98
OrthoEngine					
	# GCP	# CP	N[m]	E[m]	UP[m]
Stereo coppia Nord	9	8	0.87	0.52	1.36
Stereo coppia Sud	9	7	1.65	1.55	3.37

Tabella 4. Risultati dell'orientamento della stereo coppia WorldView-1

Generazione del DSM dalla stereo coppia WorldView-1

L'*image matching* e l'estrazione del DSM sono state eseguite sia con il software commerciale PCI Geomatica *OrthoEngine* che con i software scientifici SISAR e BLUH, quest'ultimo sviluppato dal Prof. Jacobsen dell'Università di Hannover (Crepì et al., 2008).

I DSM ottenuti sono stati confrontati con il DSM estratto per un precedente lavoro con il software *OrthoEngine* v. 9.0 da una stereo coppia QuickBird orientata con il modello rigoroso di Toutin utilizzando 39 GCP. L'accuratezza di tale DSM è dell'ordine di 2.5 m, valutata dal confronto con un numero elevato (circa 4000 punti) di CP indipendenti rilevati con GPS in modalità RTK.

Utilizzando il software *OrthoEngine* dalla stereo coppia WorldView-1 sono stati estratti due DSM: uno relativo all'area Nord e l'altro all'area Sud.

Il secondo DSM è stato ottenuto utilizzando il software scientifico SISAR per l'estrazione delle coordinate dei TP a partire dall'orientamento dell'immagine unita mentre il modulo DPCOR, incluso nel software BLUH, è stato utilizzato per il *matching*.

Il programma DPCOR utilizza il *least square matching*, che include una trasformazione affine e due parametri di correzione della radianza. Il *least square matching* ha come svantaggio un basso raggio di convergenza, tale problematica è risolta nel software applicando la metodologia del *region growing*; che permette di riconoscere i punti omologhi nelle aree circostanti ad un set di *seed points* per i quali è nota la corrispondenza con una buona precisione. Generalmente si possono usare come *seed points* i GCP utilizzati per orientare le immagini. Nel software DPCOR si è scelto come coefficiente di correlazione per la stereo coppia di WorldView-1 un valore di soglia pari a 0.6.

In Figura 5 è mostrata la distribuzione delle frequenze del coefficiente di correlazione per una delle zone selezionate nella stereo coppia WorldView-1.

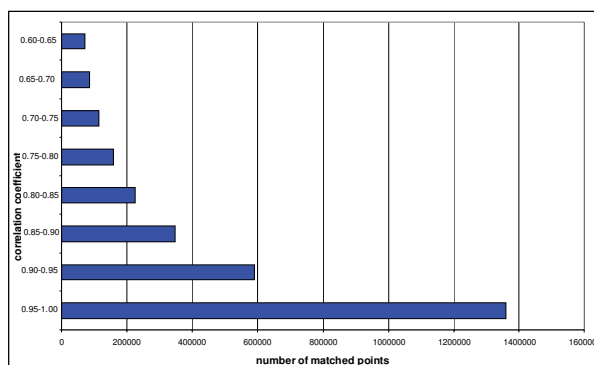


Figura 5. Distribuzione del coefficiente di correlazione nell'immagine WorldView-1

In Figura 6 a destra è mostrata la distribuzione dei punti omologhi, a sinistra invece è rappresentato il coefficiente di correlazione r usando il nero per un coefficiente di correlazione pari a 0 e bianco quando r è pari ad 1. Il *matching* è stato eseguito ogni 3 pixel con una finestra di ricerca di 10x10 pixel.

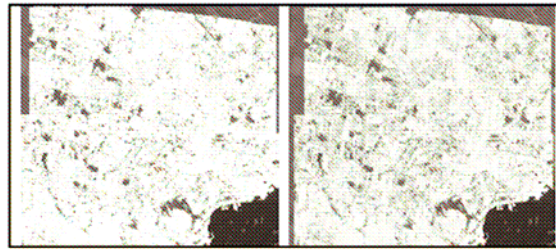


Figura 6. Punti riconosciuti omologhi (sinistra) qualità dell'immagine (destra)

Valutazione dell'accuratezza

Per valutare l'accuratezza media e la dipendenza dalla morfologia del terreno e dalla copertura vegetativa sono stati eseguiti due confronti: in particolare un confronto, dove possibile, con la traccia cinematica quindi con CP indipendenti aventi un'accuratezza media 3D di 0.3-0.5 m, e un confronto locale con il DSM estratto dalla stereo coppia QuickBird, con accuratezza di 2.5 m.

Riguardo al confronto con i CP è da sottolineare che per il calcolo dell'accuratezza media non sono stati presi in considerazione punti sui bordi dell'immagine poiché caratterizzati da distorsioni (superiori alla decina di metri), quindi gli *outlier* sono stati eliminati con un test 3σ (Leroy, Rousseeuw, 2003):

$$|w_i| = \frac{|v_i|}{\sigma_v} < 3 \quad [1]$$

dove con v_i è la differenza fra i-simo residuo e la media dei residui; se l'equazione è verificata il punto corrispondente è accettato, altrimenti è assunto come *outlier* e quindi eliminato, la procedura è iterativa.

Per testare invece le potenzialità del sensore WorldView-1 per l'estrazione dei DSM è stato eseguito un confronto locale con il DSM estratto dalle immagini QuickBird; sono state scelte quattro aree test (due aree urbane e due aree rurali) ma nel presente articolo sono riportati solo i risultati relativi ad un'area urbana e una rurale entrambe situate nella parte Nord dell'immagine.

In Tabella 7 sono riportati i confronti tra i tre DSM (DPCOR/SISAR WorldView-1, *OrthoEngine* WorldView-1, *OrthoEngine* QuickBird) e i confronti con la traccia cinematica.

	Area rurale North			Area urbana North		
	Bias [m]	St Dev [m]	RMSE Z [m]	Bias [m]	St Dev [m]	RMSE Z [m]
DPCOR/SISAR WorldView-1 - CP	-0.60	1.14	1.29	0.21	0.59	0.63
OrthoEngine WorldView-1 - CP	1.32	0.57	1.44	0.34	0.64	0.72
OrthoEngine QuickBird - CP	0.27	0.60	0.66	2.91	0.77	3.01
OrthoEngine QuickBird - DPCOR/SISAR WorldView-1	1.39	2.25	2.64	2.65	1.90	3.26
OrthoEngine QuickBird - OrthoEngine WorldView-1	0.06	2.11	2.11	2.26	1.83	2.91
DPCOR/SISAR WorldView-1 - OrthoEngine WorldView-1	-1.69	1.90	2.52	-0.29	1.56	1.59

Tabella 7. Risultati relativi alla valutazione dell'accuratezza

L'accuratezza media del DSM è di circa 2 pixel rispetto ai CP determinati con rilievi cinematici (2.5 pixel in area rurale e 1.5 pixel in area urbana).

Questi risultati sono ottimistici data la distribuzione favorevole dei CP disposti lungo le strade. Tali risultati sono confermati dai confronti globali tra il DSM WorldView-1 estratto da SISAR e DSM QuickBird estratto da *OrthoEngine*.

In Figura 8 sono rappresentati i DSM estratti usando DPCOR/SISAR e *OrthoEngine*.

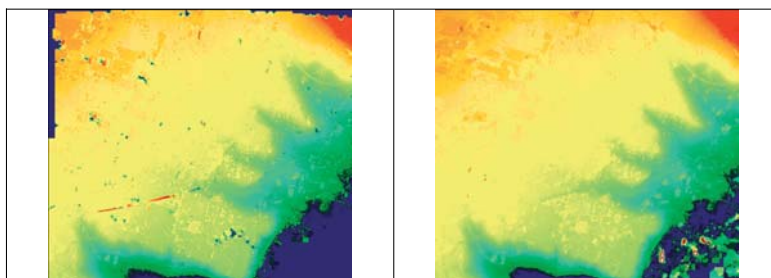


Figura 8. DSM estratti con DPCOR/SISAR (sinistra) e *OrthoEngine* (destra) in area urbana

Conclusioni

Lo studio eseguito circa la qualità del DSM estratto da stereo coppie ad alta risoluzione WorldView-1 ha mostrato significative potenzialità.

Relativamente all'orientamento delle immagini il software SISAR mostra migliori risultati rispetto ad *OrthoEngine*, l'accuratezza dell'orientamento della stereo coppia è di circa 1 pixel in planimetria e di circa 2 pixel in altimetria.

L'accuratezza del DSM è di 2 pixel (2.5 pixel in area rurale e 1.5 pixel in area urbana) rispetto ai CP determinati con rilievi cinematici.

I risultati appaiono ottimistici data la posizione dei CP lungo le strade, comunque confermati dai confronti globali tra il DSM WorldView-1 estratto da SISAR e DSM QuickBird estratto da *OrthoEngine*.

In futuro saranno eseguiti ulteriori studi su aree più estese dove è disponibile il DSM da dati LIDAR.

Bibliografia

- V. Baiocchi, M. Crespi, L. De Vendictis, A. Mazzoni, *DSM extraction from IKONOS and EROS A stereo imagery: methodology, accuracy and problems*. (2005) Proceedings of 25th EARSeL Symposium, Porto, Portugal
- M. Crespi, L. De Vendictis, R. Onori, F. Volpe, *Valutazione dell'accuratezza di DSM estratti da immagini QuickBird basic e standard orthoready*. (2006) Proceedings of 10ª Conferenza nazionale ASITA, Bolzano, Italia
- M. Crespi, F. Fratarcangeli, F. Giannone, G. Colosimo, F. Pieralice, K. Jacobsen, *Geometric Potential Of Cartosat-1 Stereo Imagery*. (2008) Proceedings of XXI ISPRS Conference, Beijing, China
- M. Crespi, F. Fratarcangeli, F. Giannone, F. Pieralice, Chapter 4 - *Overview on models for high resolution satellites imagery orientation*. (2009) In: D. Li, J. Shan, J. Gong (Eds.) Geospatial Technology for Earth Observation data. Springer, Heidelberg, (ISBN/ISSN: 978-1-4419-0049-4)
- T. A. Leroy, P. Rousseeuw, *Robust Regression and Outlier Detection*. J. Wiley & Sons, 2003
- T. Toutin, *Elevation modeling from satellite data*. Enc. of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation 10 (2000), 8543-8572
- T. Toutin, *Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods* (review paper). International Journal of Remote Sensing 10 (2004), 1893-1924