

ESTRAZIONE DI MODELLI DIGITALI DELLA SUPERFICIE DA STEREOCOPPIE QUICKBIRD: CONFRONTI E VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA

Mattia CRESPI (*), Laura DE VENDICTIS(*), Armin GRUEN(**), Giorgio IANNUCCI(*),
Daniela POLI(***), Fabio VOLPE(****), Xinya WANG(***)

(*)DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”,
via Eudossiana 18 – 00184 Roma tel. +39 06 44585068, fax. 06 +39 06 44585515, e-mail: mattia.crespi@uniroma1.it
(**)Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH-Hoenggerberg, 8093 Zurich, Switzerland tel. +41 44 6333038,
fax. +41 44 633110, e-mail: agruen@geod.baug.ethz.ch
(***)CyberCity AG – in der Luberzen 3 - CH 8902 Urdorf, Switzerland, tel. +41 44 7770 999, fax. +41 44 7770 911,
e-mail: dpoli@cybercity.tv
(****)Eurimage S.p.A, via Edoardo D'Onofrio 212 - 00155 Roma, tel. +39 06 406941, fax. +39 06 40694232,
e-mail: volpe@eurimage.com

Riassunto

Lo scopo della sperimentazione è valutare l'accuratezza di modelli digitali della superficie (DSM) estratti da coppie di immagini QuickBird relative alla medesima area, ma acquisite con diversi angoli di vista durante due passaggi orbitali differenti.

Lo studio è stato condotto su due immagini relative all'area di Castel Gandolfo (Roma), acquisite a circa un anno di distanza, con una percentuale di sovrapposizione cross-track pari a circa il 70%.

Un'analisi preliminare è stata finalizzata a valutare il rumore delle immagini in funzione dell'intensità radiometrica. Quindi le due immagini sono state orientate utilizzando il modello rigoroso di Toutin, implementato nel software commerciale PCI-OrthoEngine, e con il modello dei Coefficienti Polinomiali Razionali (RPC), fornito dal software accademico SAT-PP, sviluppato presso lo *Swiss Federal Institute of Technology* (ETH) di Zurigo.

Utilizzando i due software sono stati estratti due DSM alla risoluzione di 2 pixel (1.2 m), confrontati con un modello digitale della superficie ottenuto tramite un rilievo LIDAR del 2006, su 4 aree con caratteristiche morfologiche differenti.

Uno dei fattori che possono influenzare la correlazione durante il *matching* è la differenza radiometrica tra le 2 immagini, dovuta all'intervallo temporale di acquisizione; per questo motivo gli stessi confronti sono stati ripetuti dopo aver pre-processato le immagini applicando preliminarmente il filtro a media mobile per ridurre il rumore, e quindi il filtro di Sobel che trasforma le immagini in mappe del gradiente. I risultati ottenuti hanno mostrato che è possibile ottenere un'accuratezza del DSM di circa 2.0 m con il software SAT-PP e di circa 2.5 m con il software OrthoEngine, valore che può essere significativamente migliorato utilizzando immagini pre-filtrate.

Abstract

The goal of the work is to evaluate the mean accuracy of Digital Surface Models (DSMs) extracted from two images acquired by QuickBird satellite acquired during two different orbital passages with a time span of about 11 months and an overlap of almost 70%.

A preliminary analysis was carried out to investigate the noise dependency on image intensity; then, the two images have been oriented both with the rigorous (physical) model of the PCI-OrthoEngine software and with the Rational Polynomial Coefficients (RPC) approach, implemented in the SAT-

PP (Satellite Image Precision Processing) software, developed at ETH Zurich. The corresponding DSMs were interpolated and compared to the reference DSM by an airborne LIDAR survey. Further, considering that a crucial factor influencing the matching is the different texture between the 2 images due to the large time span between their acquisitions, QuickBird images were filtered to enhance the edges and then to reduce the influence of the texture; at first, a smoothing moving average filter was applied to reduce the high frequency noise, then a Sobel filter, transforming the images into gradient maps, was applied.

Introduzione

Negli ultimi anni, con il lancio della seconda generazione di satelliti come Ikonos II, QuickBird ed EROS A sono disponibili immagini ad elevata risoluzione che rappresentano una risorsa importante per la generazione di modelli digitali della superficie. Il satellite QuickBird permette di acquisire immagini con la migliore risoluzione a terra attualmente disponibile (0.6 m in pancromatico) e stereocoppie in modalità along-track. Considerando però il costo elevato di questo tipo di dati e, parallelamente, il costo inferiore e l'elevata disponibilità di immagini di archivio, si ritiene interessante valutare la qualità di informazioni 3D ottenute da coppie di immagini acquisite, con geometria idonea, durante passaggi orbitali indipendenti.

Dati della sperimentazione

L'area di studio interessa la zona di Castel Gandolfo, a sud di Roma; le 2 immagini, di tipo Standard Orthoready, sono state acquisite durante due passaggi orbitali differenti, a 11 mesi di distanza, con una percentuale di sovrapposizione cross-track pari a circa il 70% (15x15 km²). La prima immagine (*Right*) è stata rilevata il 12 agosto 2003 con un angolo medio di off-nadir in direzione cross-track di 10.4 gradi e una risoluzione di 0.63 m, mentre la seconda (*Left*) è stata acquisita il 6 luglio 2004, con un angolo medio di off-nadir sempre in direzione cross-track di 17.7 gradi e una risoluzione di 0.66 m.

Per l'orientamento delle immagini e l'estrazione dei DSM sono state acquisite le coordinate di 26 Ground Control Point (GCP) (accuratezza 3D: 0.05 - 0.10 m), tramite un rilievo GPS RTK, eseguito appoggiandosi a RESNAP-GPS, la rete permanente della Regione Lazio (w3.uniroma1.it/resnap-gps) (Fig. 1). Il DSM utilizzato per i confronti è stato ottenuto tramite un rilievo LIDAR del 2006, con risoluzione di 1 m, che purtroppo interessa una piccola zona delle immagini, ampia 13 km², situata in corrispondenza dei laghi di Albano e Nemi (Fig. 2).

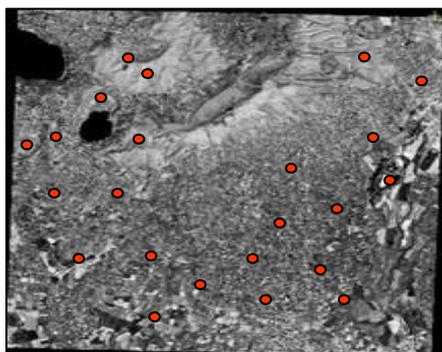


Figura 1 – Distribuzione dei GCP

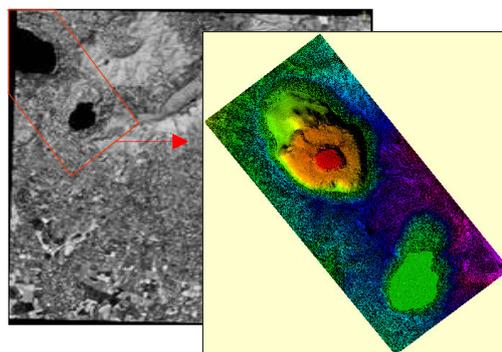


Figura 2 – DSM dal LIDAR

Analisi del rumore

Attualmente la maggior parte dei sensori è progettato per acquisire immagini digitali con una risoluzione radiometrica di 8 bit, ma in realtà gli istogrammi di frequenza dei livelli di grigio presentano i picchi nelle zone dei toni più scuri e non occupano tutto l'intervallo disponibile. Per esempio le immagini QuickBird sono acquisite ad 11 bit (2048 toni di grigio), ma l'80% dei valori è compreso tra 256 e 511 bit (Fig. 3).

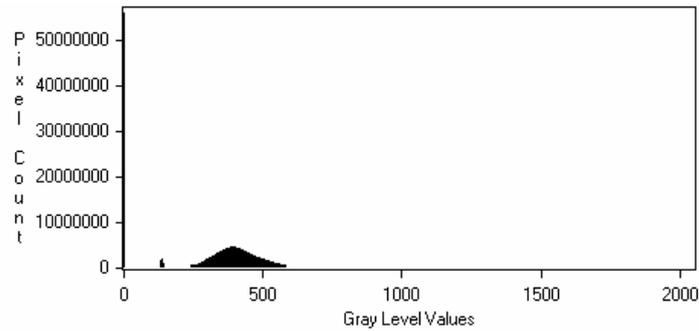


Figura 3 – Istogramma di frequenza dei livelli di grigio dell' immagine Right

Basandosi sul metodo proposto da Baltasvias (2001), l'analisi del rumore delle immagini QuickBird è stata eseguita su aree non omogenee che rappresentano la parte più ampia delle scene (escludendo quindi i laghi). Come indicatore del rumore è stata calcolata la deviazione standard (SQM) dei valori di grigio (Digital Number - DN) dei pixel relativi ad una finestra mobile 3x3, traslata su tutta l'immagine con passo 3x3.

L'intervallo dei livelli di grigio è stato diviso in classi ed il valore di SQM di ogni finestra è stato assegnato alla corrispondente classe sulla base della media dei DN della finestra stessa; per ogni classe il rumore è stato stimato come media del 5% dei valori di SQM più bassi (se presenti almeno 100 dati). Inoltre, per una stima più robusta del rumore, è stato calcolato R, come indicatore del *signal-to-noise ratio*:

$$R = (g_{\max} - g_{\min}) / \sigma_S \quad [1]$$

dove σ_S è il valore del rumore precedentemente stimato per ogni classe e g_{\max} e g_{\min} rappresentano il valore massimo e minimo dei DN relativi all'intera immagine.

Nella figura 4 si riportano i risultati ottenuti; dall'analisi dei valori sembra che non ci sia dipendenza tra intensità radiometrica e rumore delle immagini, anche se questo è abbastanza elevato, probabilmente a causa della ridotta dimensione del pixel.

Orientamento stereo

Le due immagini sono state orientate utilizzando il modello rigoroso di Toutin, implementato nel software commerciale PCI-OrthoEngine v.10.0 e il modello delle funzioni razionali (RPC di ordine 0 e 1 - RPC0, RPC1) del software accademico SAT-PP (*Satellite Image Precision Processing*), sviluppato presso l'ETH di Zurigo.

L'orientamento stereo delle immagini è stato eseguito utilizzando un numero differente di GCP, incrementando il loro numero a partire da 9, con lo scopo di individuare il minimo numero necessario per ottenere l'assestamento dell'accuratezza, valutata sui residui dei Check Point (CP).

Classi	Right (10.0°)		Left (17.7°)	
	Rumore	R	Rumore	R
0-255	2.4	315.3	2.9	205.9
256-288	3.5	172.4	4.8	127.5
289-320	2.9	187.6	3.6	160.5
321-352	3.1	153.0	3.4	165.1
353-384	3.5	131.6	3.8	145.0
385-416	3.8	123.4	4.0	136.1
417-448	4.0	118.4	4.2	129.2
449-480	2.4	315.3	2.9	205.9
481-511	4.7	101.2	4.7	113.8
512-767	5.3	90.2	6.5	82.3
768-1023	4.1	315.3	4.7	205.9
1024-1279	2.4	115.4	2.9	121.0
1280-1535	-	-	-	-
1536-1791	-	-	-	-
1792-2047	-	-	-	-

Figura 4 – Stima del livello di rumore delle immagini

N° GCP+N° CP	RMSE Check Point								
	PCI Modell rigoroso			SAT-PP RPC 1			SAT-PP RPC 0		
	E (m)	N (m)	H (m)	E (m)	N (m)	H (m)	E (m)	N (m)	H (m)
9+17	0.58	0.80	0.80	0.68	0.84	0.81	0.82	0.89	0.97
12+14	0.51	0.93	0.72	0.58	0.84	0.77	0.70	0.86	0.92
15+11	0.43	1.00	0.83	0.59	0.91	0.84	0.64	0.84	0.97
18+8	0.49	0.88	0.94	0.68	0.76	0.86	0.41	0.55	0.96
21+5	0.59	0.79	0.63	0.57	0.72	0.86	0.38	0.56	1.06

Figura 5 - Residui sui CP con orientamento 3D

I valori riportati in figura 5 mostrano una sostanziale equivalenza dell'accuratezza (*Root Mean Square Error* - RMSE) fornita dai due approcci (modello rigoroso ed RPC (RPC0 e RPC1)), che si assesta a livello sub-metrico per tutte e tre le coordinate a partire già dai 9 GCP. Per l'estrazione dei DSM sono stati utilizzati tutti i 26 GCP disponibili.

Estrazione del modello digitale della superficie

Il *matching* delle immagini per l'estrazione del modello digitale della superficie è stato effettuato sia con il software SAT-PP, utilizzando i parametri d'orientamento ottenuti con il modello RPC di ordine 1, che con il software PCI-Orthoengine e i parametri d'orientamento ottenuti con il modello rigoroso.

I DSM sono stati estratti dalla coppia QuickBird ad una risoluzione di 2 pixel (1.2 m), e confrontati con il DSM derivato dal rilievo LIDAR, stimando le differenze 3D tra le due superfici tramite il software LS3D, implementato da D. Akca, presso l'ETH di Zurigo. I confronti sono stati eseguiti su 4 zone con differenti caratteristiche (2 aree urbane e 2 aree a suolo nudo), escludendo dall'analisi le zone coperte da alberi, per cui i dati LIDAR a disposizione, non depurati della quota degli alberi, non rappresentano un *reference* ottimale (Fig. 6).

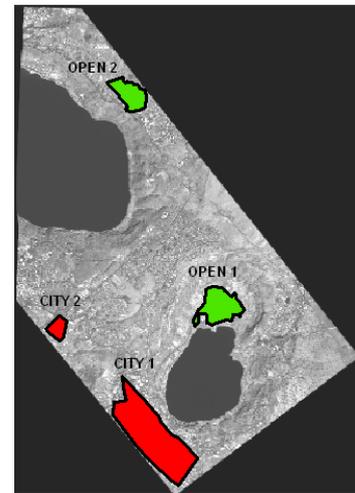


Figura 6 – Aree di indagine

Dall'analisi dei risultati (RMSE) riportati in figura 7 si può evidenziare che l'accuratezza ottenuta con PCI-OrthoEngine (circa 3.5 m) è generalmente peggiore dell'accuratezza fornita da SAT-PP (circa 2.5 m).

Statistiche	AREA URBANA 1		AREA URBANA 2		AREA APERTA 1		AREA APERTA 2	
	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM
N° dati	736193	734582	62775	62595	238985	186220	156429	154928
Media (m)	-1.28	-0.46	-1.04	-0.17	-1.28	0.85	-0.95	-0.26
Min (m)	-26.45	-20.95	-14.79	-16.12	-27.10	-103.34	-18.54	-66.46
Max (m)	8.53	62.18	9.45	38.78	22.45	69.02	7.82	32.42
RMSE (m)	2.42	3.26	2.17	3.22	3.49	7.51	2.24	2.99

Figura 7 - Accuratezza dei DSM

I risultati ottenuti con i due software sono particolarmente distanti per la prima area a suolo nudo (AREA APERTA 1), a causa della presenza di diversi *outlier*, per lo più localizzati attorno ad aree vuote del DSM, in cui il *matching* non ha prodotto risultati; si può notare infatti che il numero di

punti estratto dal SAT-PP in questa area è del 20% superiore rispetto al numero di dati generato da PCI-OrthoEngine. Per le aree urbane il numero dei punti estratti è simile per i due software, anche se alcuni *outlier* sono presenti nel DSM estratto con PCI-OrthoEngine. Sono inoltre evidenti in queste aree degli errori sistematici; probabilmente in zone densamente urbanizzate, a causa dell'elevata percentuale di edifici, il DSM tende ad assumere quote più elevate in corrispondenza delle strade (errori positivi) e più basse (errori negativi) in corrispondenza delle costruzioni (Crespi et al. 2007) (Fig. 8).

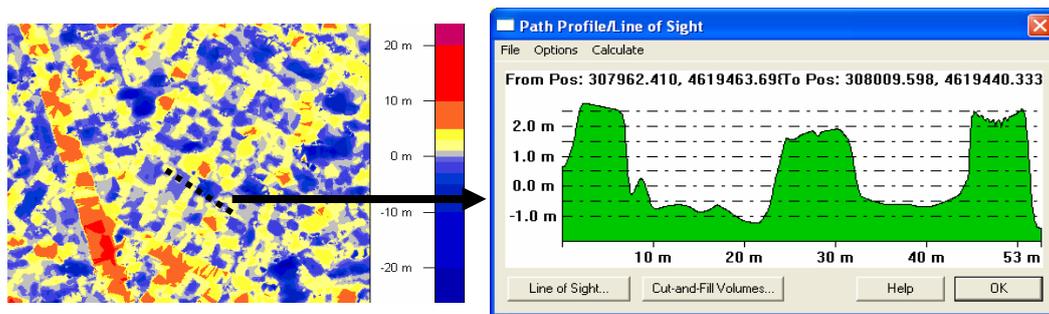


Figura 8 – Sezione sul DSM estratto con PCI in area urbana

Applicazione del filtro di Sobel

Le due immagini QuickBird utilizzate nella sperimentazione sono state acquisite ad un anno di distanza l'una dall'altra; a causa dell'intervallo di tempo che intercorre tra le due acquisizioni le immagini possono presentare differenze radiometriche, dovute al diverso angolo di off-nadir, e differenze delle caratteristiche del suolo causate da eventuali cambiamenti come nuove costruzioni, diverse coltivazioni, ecc. Le 2 immagini sono state quindi filtrate per enfatizzare i bordi e ridurre l'influenza della *texture*, applicando preliminarmente un filtro a media mobile 3x3 per ridurre le alte frequenze e successivamente il filtro di Sobel [2] che trasforma le immagini in mappe del gradiente:

$$G_x = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} * A, G_y = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} * A \Rightarrow G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad [2]$$

ove A rappresenta il Digital Number associato ad ogni pixel.

Utilizzando le immagini filtrate sono stati estratti due nuovi DSM con entrambi i software e sono stati ripetuti gli stessi confronti con il DSM da LIDAR in corrispondenza delle 4 zone.

Statistiche	AREA URBANA 1		AREA URBANA 2		AREA APERTA 1		AREA APERTA 2	
	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM	SATPP RPC1	PCI RM
736217	642551	62714	50502	238604	198822	156517	156417	736217
-1.46	-1.04	-1.31	-0.51	-1.59	0.14	-0.97	-0.38	-1.46
-18.71	-81.82	-26.55	-16.90	-32.11	-89.78	-17.28	-11.85	-18.71
8.70	77.81	8.33	23.00	16.02	29.91	6.45	30.49	8.70
2.55	2.53	2.49	2.32	3.88	4.43	2.21	1.95	2.55

Figura 9 - Accuratezza dei DSM ottenuto con le immagini filtrate

I risultati riportati in figura 9, confrontati con quelli ottenuti precedentemente con le immagini non filtrate (Figura 7), mostrano un significativo miglioramento dell'accuratezza per il DSM estratto con PCI-OrthoEngine, con una riduzione dell'RMSE da 3.5 m a 2.5 m.

L'accuratezza del DSM estratto con SAT-PP non sembra invece migliorare utilizzando le immagini filtrate probabilmente perché il filtro di Wallis, utilizzato in SAT-PP per processare le immagini, ha lo stesso obiettivo del filtro di Sobel; applicando 2 volte un filtro simile potrebbe introdurre delle distorsioni e la perdita di informazioni. Questo problema deve però essere ancora indagato più approfonditamente.

Conclusioni e prospettive future

L'estrazione di modelli digitali della superficie costituisce da qualche anno un argomento molto attuale nell'ambito della ricerca scientifica. In questa sperimentazione sono stati estratti due DSM, utilizzando il software commerciale PCI-OrthoEngine ed il software accademico SAT-PP, da una coppia di immagini QuickBird acquisite ad un anno di distanza.

L'ampio intervallo temporale di acquisizione tra le 2 immagini può causare delle forti differenze radiometriche che influenzano negativamente la correlazione durante il *matching*; per questo motivo sono stati estratti 2 nuovi DSM dopo aver pre-processato le immagini con il filtro di Sobel che enfatizza i bordi riduce l'influenza della *texture*. I nuovi DSM estratti con le immagini filtrate hanno mostrato un significativo miglioramento dell'accuratezza (1 m) soprattutto per il DSM estratto con il software PCI-OrthoEngine.

Nel prossimo futuro verranno eseguiti test simili su coppie di immagini acquisite in date differenti da altre piattaforme satellitari ad alta risoluzione.

Bibliografia

Baiocchi V, Crespi M, De Vendictis L, Mazzoni A. (2005), "DSM Extraction from IKONOS and EROS A Stereo Imagery: Methodology, Accuracy and Problems", *Proc. of EARSeL Workshop 3D Remote Sensing*, Porto, Portogallo, 10-11 Giugno (su CD-ROM)

Baltsavias E, Pateraki M, Zhang L. (2001), "Radiometric and Geometric Evaluation of IKONOS Geo Images and Their Use for 3D Building Modeling", *Joint ISPRS Workshop on High Resolution Mapping from Space 2001*, Hannover, Germania, 19-21 Settembre (su CD-ROM)

Crespi M, De Vendictis L, Gruen A, Iannucci G, Volpe F. (2007), "DSM extraction from Quickbird and Cartosat stereopairs: quality assessment and comparison", *Proc. of 8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques* ETH Zurigo, Svizzera, 9-12 Luglio (su CD-ROM)

Crespi M, Barbato F, De Vendictis L, Poli D, Volpe F, Wang X. (2006), "Orientation, orthorectification, DSM extraction and 3D city modeling by Cartosat-1 stereo imagery: first results of a test over Rome", *Proc. of ISPRS International Symposium on Geospatial Databases for Sustainable Development*, Goa, India, 27-30 Settembre (su CD-ROM)

Gruen A, Akca D, (2005), "Least squares 3D surface and curve matching", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 59(3), 151-174

Gruen A, Zhang L. (2002), "Automatic DTM Generation from Three-Line-Scanner (TLS) images", *IAPRS*, Vol. 34, Part 2A, Graz, Austria, pp. 131-137

PCI, (2006), *Manual of Orthoengine Software*, v. 10

Toutin T. (2004), "DSM Generation from QuickBird In-track Stereo Images with 3D Physical Modelling", *International Journal of Remote Sensing*, 25: pp. 5181-5193

Zhang L, Gruen A. (2006), "Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 60, iss. 3, pp. 195-211

Zhang L. (2005), *Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Image*, PhD Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry. ETH Zurich, ISBN 3-906467-55-4.