

ANALISI DELLE POTENZIALITÀ RADIOMETRICHE E GEOMETRICHE DI IMMAGINI QUICKBIRD E WORLDVIEW-1

Mattia CRESPI (*), Laura DE VENDICTIS (**), Fabiana NIFOSÌ (*),
Vincenzo VACCA (*), Fabio VOLPE (**)

(*) DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”,
via Eudossiana 18 – 00184 Roma tel. +39 06 44585097, fax. 06 44585515, e-mail: mattia.crespi@uniroma1.it
(**) Eurimage S.p.A, via Edoardo D’Onofrio 212 - 00155 Roma, tel. +39 06 406941, fax. +39 06 40694232,
e-mail: (volpe, l.devendictis)@eurimage.com

Riassunto

Lo scopo della sperimentazione è quello di valutare la qualità radiometrica e geometrica dei prodotti acquisiti dalle due piattaforme satellitari QuickBird e WorldView-1, che attualmente offrono la più alta risoluzione spaziale disponibile sul mercato.

Per ogni satellite sono stati analizzati due prodotti ottenuti dalla stessa acquisizione tramite un diverso livello di processamento: Basic e Standard Ortho-Ready.

La qualità radiometrica delle immagini è stata valutata tramite la stima del livello di rumore (*noise*) e della funzione di trasferimento della modulazione (*Modulation Transfer Function* - MTF), che fornisce indicazioni sulla risoluzione delle immagini.

La seconda parte della ricerca è stata finalizzata a valutare le potenzialità geometriche dei 2 satelliti tramite test di orientamento condotti utilizzando sia il modello rigoroso, sia il modello delle funzioni polinomiali razionali (RPC), disponibili nei 2 software commerciali OrthoEngine 10.1 (PCI Geomatica) ed ERDAS Immagine 9.2.

Abstract

The purpose of the experimentation is to assess the radiometric and geometric quality of the products acquired by QuickBird and WorldView-1 satellites, that actually offer the highest spatial resolution.

For each satellite we analyzed two products obtained from the same acquisition by two different processing level: Basic and Standard Ortho-Ready.

The radiometric quality of the images was evaluated estimating the noise level and the Modulation Transfer Function (MTF), that indicates the image sharpness.

The aim of the second part of the research was to assess the geometric potential of the 2 satellites through orientation tests carried out using both, the strict model and the rational polynomial coefficients model (RPC), available in OrthoEngine 10.1 (PCI Geomatics) and ERDAS Image 9.2 commercial software.

Dati della sperimentazione

QuickBird e WorldView-1 attualmente offrono la più alta risoluzione nel settore commerciale pari, rispettivamente, a 61 cm e a 50 cm per il pancromatico. WorldView-1, lanciato a settembre nel 2007, è inoltre equipaggiato con strumenti che offrono un notevole incremento dell'accuratezza di posizionamento.

Per ogni satellite sono stati analizzati due prodotti, ottenuti da un'unica acquisizione, tramite un diverso livello di processamento: Basic e Standard Ortho-Ready. Le immagini di tipo Basic sono

sottoposte ad una correzione esclusivamente radiometrica; le immagini di tipo Standard Ortho-Ready sono corrette sia radiometricamente che geometricamente, e sono quindi rilasciate in un sistema di proiezione cartografica.

La scena QuickBird utilizzata per la sperimentazione (16x17 km²) è stata acquisita il 5 aprile 2005 con un angolo di off-nadir di 2.1° (Fig.1), l'immagine WorldView-1 (17x15 km²) è stata acquisita l'8 febbraio 2008 con angolo di off-nadir di 6.5° (Fig. 2).

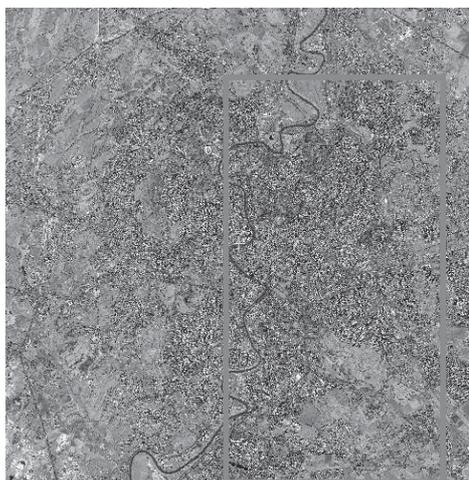


Figura 1 – Immagine QuickBird

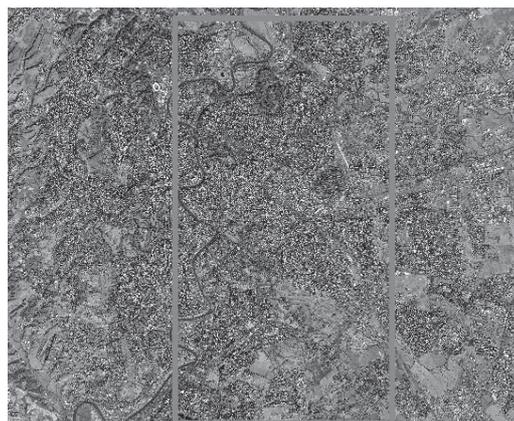


Figura 2 – Immagine WorldView-1

Come è possibile notare dalle figure, l'ampiezza della zona di sovrapposizione delle due immagini, entrambe relative alla città di Roma, ha consentito di utilizzare per l'orientamento le coordinate degli stessi 33 Ground Control Point (GCP) (accuratezza 3D: 0.05 - 0.10 m), acquisite tramite un rilievo GPS RTK, eseguito appoggiandosi a RESNAP-GPS, la rete permanente della Regione Lazio (w3.uniroma1.it/resnap-gps). I GCP sono concentrati in un'area di ampiezza 8x13 km² evidenziata dal rettangolo rosso.

Analisi radiometrica

La qualità radiometrica di un'immagine può essere rappresentata da 2 parametri: il rumore (*noise*) e la nitidezza (*sharpness*), esprimibile tramite la funzione di trasferimento della modulazione (*Modulation Transfer Function* - MTF).

Una prima analisi è stata finalizzata a valutare la dipendenza tra il livello di rumore e l'intensità radiometrica delle immagini. E' necessario sottolineare che i sensori montati a bordo dei due satelliti, benché siano progettati per acquisire immagini digitali con una risoluzione radiometrica di 11 bit, in realtà sono caratterizzati da istogrammi di frequenza che presentano i picchi nelle zone di grigio più scuro, senza occupare tutto l'intervallo disponibile.

L'analisi si è basata sul metodo proposto da (Baltsavias et al. 2001) che permette di stimare il livello di rumore tramite l'analisi dello scarto quadratico medio dei *Digital Number* (DN) delle immagini nelle zone non omogenee. Benché il rumore sia particolarmente visibile nelle zone omogenee, dove i pixel relativi allo stesso oggetto sulla superficie dovrebbero avere lo stesso valore di DN, in realtà l'uso delle aree non omogenee, che tra l'altro costituiscono la percentuale maggiore delle immagini, permette un'analisi della variazione di rumore in funzione dell'intensità radiometrica.

Come indicatore del rumore si considera la deviazione standard (SQM) dei valori dei DN relativi ai pixel di una finestra mobile 3x3, fatta scorrere su tutta l'immagine con passo di 3 pixel.

L'intervallo di tutti i toni di grigio è diviso in classi ed il valore di SQM di ogni finestra è assegnato alla relativa classe sulla base del valore della media dei DN della finestra stessa; per ogni classe il rumore viene stimato come media del 5% dei valori di SQM minori, sotto l'ipotesi che la variabilità dei DN di tali finestre sia effettivamente dovuta al rumore e non ad una differenza di *texture*.

I risultati ottenuti hanno evidenziato, per entrambe le piattaforme satellitari, una sostanziale indipendenza del rumore rispetto all'intensità radiometrica nelle classi che interessano la maggior parte dei pixel (oltre l'80%), mentre si nota una lieve correlazione nelle classi estreme (0-320\512-1279) in cui l'intensità aumenta con il livello di grigio (Fig. 3).

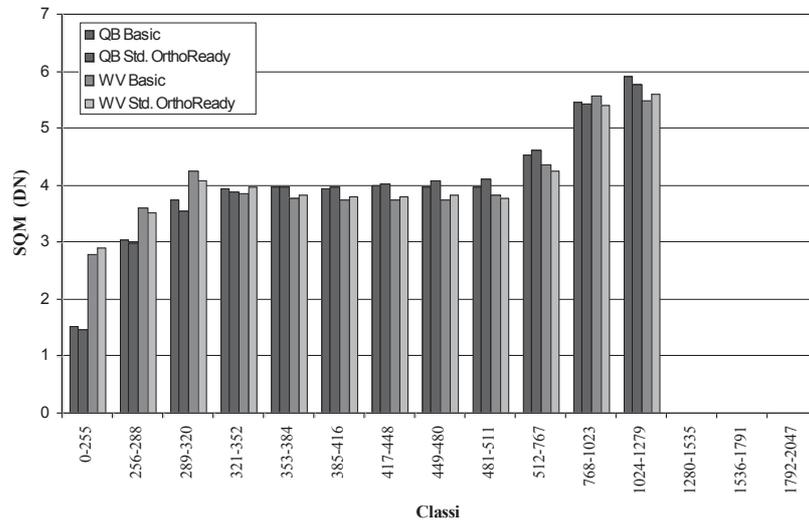


Figura 3 – Stima del rumore

La seconda parte dell'analisi radiometrica ha avuto come scopo la valutazione della funzione di trasferimento della modulazione che caratterizza, nel dominio della frequenza spaziale e lungo una direzione predefinita, la risoluzione spaziale dell'immagine. La funzione di trasferimento può essere ottenuta considerando la risposta (*Edge Spread Function* – ESF) di un sistema ottico ad un impulso rettangolare, assimilabile ad una funzione a gradino.

Negli ultimi anni sono state sviluppate diverse metodologie per la stima della MTF (Choi, 2002, Kohm, 2004), la maggior parte delle quali si basa sull'utilizzo di target naturali o artificiali per ottenere la *Edge Spread Function*. Per questo lavoro ci si è basati sull'“*edge method*” proposto da (Choi, 2002), e recentemente rivisto da (De Vendictis, 2008).

L'obiettivo iniziale della metodologia consiste nell'individuare sulle immagini degli elementi lineari (Fig. 4), approssimativamente orientati in direzione parallela (*along-track*) e ortogonale (*cross-track*) a quella di volo, che rappresentano una linea di bordo tra due regioni uniformi a differente intensità radiometrica.

Si individua, quindi, per ogni pixel della linea di bordo una retta perpendicolare al bordo stesso che viene interpolata, sulla base dei relativi DN, con una *spline* cubica. Per ottenere la *Edge Spread Function*, che rappresenta la risposta sintetica del sensore all'impulso in ingresso, le *spline* sono mediate ed interpolate mediante una funzione analitica che ne riduce il rumore (De Vendictis, 2008).

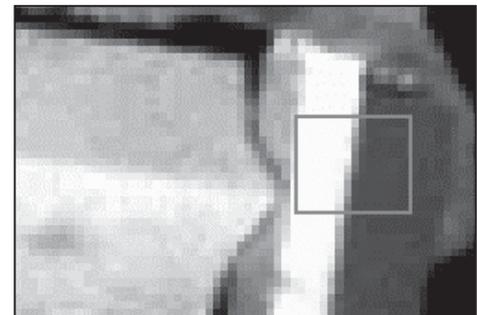


Figura 4 - Target along-track

Tramite la derivata prima della LSF è possibile ottenere la *Line Spread Function* (LSF), la cui trasformata di Fourier, opportunamente scalata nell'asse delle frequenze, fornisce la *Modulation Transfer Function* (MTF) alla frequenza di Nyquist (Fig. 5).

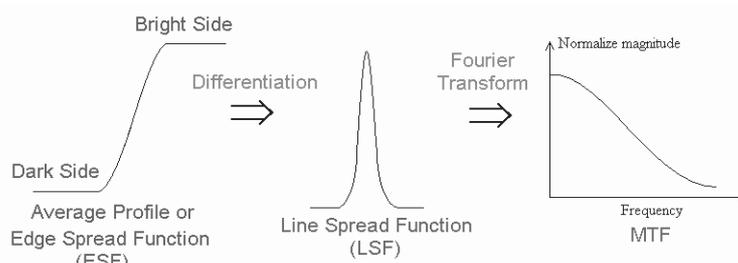


Figura 5 – Metodologia per la stima della MTF

Dalla curva LSF è stato possibile stimare, come ulteriore parametro che fornisce un'indicazione sulla risoluzione delle immagini, il *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti considerando gli stessi target sulle 4 immagini (Fig. 6).

IMMAGINE	21 edges cross-track		22 edges along-track	
	MTF at Nyquist	FWHM (pixel)	MTF at Nyquist	FWHM (pixel)
QB BASIC	0.25	1.31	0.19	1.52
QB_StdOr	0.23	1.37	0.17	1.60
WV1_BASIC	0.23	1.40	0.17	1.60
WV1_StdOr	0.23	1.40	0.15	1.66

Figura 6 – Stima della MTF e del parametro FWHM

L'analisi della MTF ha evidenziato, per entrambe i satelliti, che la risoluzione delle immagini è migliore in direzione *cross-track*, ovvero ortogonale alla direzione di volo del satellite, rispetto alla direzione *along-track*. Il tipo di processamento delle immagini (Basic e Standard Ortho-Ready) non sembra influenzare sostanzialmente tale valore.

Orientamento stereo

Le quattro immagini sono state orientate utilizzando il modello rigoroso ed il modello delle funzioni polinomiali razionali (RPC) con coefficienti di correzione di ordine 0 e 1 (RPC0, RPC1), implementati nei software commerciali PCI-OrthoEngine v.10.0 ed ERDAS Imagine 9.2.

L'orientamento è stato eseguito utilizzando un numero differente di GCP, incrementando il loro numero a partire da 6 fino ad un massimo di 15, con lo scopo di individuare il minimo numero necessario per ottenere l'assestamento dell'accuratezza, valutata in termini di *Root Mean Square Error* (RMSE) sui residui dei restanti 18 Check Point (CP) non utilizzati nell'orientamento.

Nelle figure 7 e 8 si riportano i risultati ottenuti per le 4 immagini con i 3 modelli di orientamento implementati nel software OrthoEngine.

I valori ottenuti mostrano che per i prodotti QuickBird (Fig. 7) il modello RPC1 ed il modello rigoroso, a differenza del modello RPC0, forniscono entrambi risultati a livello sub-pixel in entrambe le direzioni; il modello rigoroso risulta in ogni caso più accurato.

OrthoEngine - QuickBird Basic							OrthoEngine - QuickBird Std. OrthoReady						
RMSE Check Points (Pixel)							RMSE Check Points (Pixel)						
N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1		N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1	
	E	N	E	N	E	N		E	N	E	N	E	N
6	0.86	0.53	1.93	0.68	1.20	0.67	6	1.44	0.66	1.90	0.67	1.31	0.53
9	0.79	0.68	1.83	0.68	0.92	0.58	9	0.65	0.80	1.73	0.67	0.95	0.50
12	0.71	0.60	1.88	0.69	0.86	0.58	12	0.68	0.57	1.79	0.68	0.89	0.49
15	0.62	0.61	1.95	0.70	0.91	0.58	15	0.65	0.56	1.85	0.69	0.89	0.49

Figura 7 – Accuratezza QuickBird con i modelli di OrthoEngine

Anche per le immagini WorldView-1 i tre modelli forniscono un livello di accuratezza contenuto nel pixel, ma in questo caso il modello rigoroso sembra interpretare meno bene le distorsioni geometriche (Fig. 8). E' interessante sottolineare che i modelli RPC0 e RPC1 applicati alle immagini WorldView-1 forniscono risultati sostanzialmente equivalenti, probabilmente perché, anche grazie alla migliore precisione di posizionamento fornita da innovativi strumenti montati a bordo del satellite, i coefficienti dei polinomi razionali sono stimati a partire da un modello rigoroso più accurato.

OrthoEngine - WorldView-1 Basic							OrthoEngine - WorldView-1 Std. OReady						
RMSE Check Points (Pixel)							RMSE Check Points (Pixel)						
N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1		N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1	
	E	N	E	N	E	N		E	N	E	N	E	N
6	0.77	1.38	0.67	0.76	0.83	0.84	6	1.18	1.12	0.77	0.87	0.83	1.05
9	0.85	1.28	0.68	0.75	0.78	0.81	9	0.84	1.29	0.77	0.89	0.80	1.02
12	0.72	1.02	0.67	0.78	0.78	0.79	12	0.81	1.13	0.76	0.89	0.82	1.00
15	0.72	0.85	0.67	0.75	0.77	0.77	15	0.79	1.02	0.77	0.87	0.81	0.98

Figura 8 – Accuratezza WorldView-1 con i modelli di OrthoEngine

Il software ERDAS non permette di correggere con il modello rigoroso le immagini di tipo Standard Ortho-Ready, già sottoposte ad una correzione geometrica basata sull'utilizzo di un DEM a quota costante pari all'altitudine media dell'area.

I test effettuati sulle immagini QuickBird mostrano che il modello RPC1 fornisce la migliore accuratezza (sub-pixel), accuratezza che risulta superiore per le immagini di tipo Basic (Fig. 9).

ERDAS - QuickBird Basic							ERDAS - QuickBird Std. OReady				
RMSE Check Points (Pixel)							RMSE Check Points (Pixel)				
N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1		N° GCP	RPC0		RPC1	
	E	N	E	N	E	N		E	N	E	N
6	1.53	0.64	1.69	0.82	0.47	0.42	6	2.72	1.44	0.76	0.76
9	1.54	0.58	1.70	0.83	0.45	0.35	9	2.67	1.39	0.78	0.67
12	1.49	0.59	1.70	0.86	0.45	0.35	12	2.71	1.45	0.80	0.67
15	1.49	0.60	1.74	0.87	0.40	0.35	15	2.77	1.46	0.77	0.68

Figura 9 – Accuratezza QuickBird con i modelli di ERDAS

Per l'immagine di tipo Basic del satellite WorldView-1 i tre modelli forniscono risultati sostanzialmente equivalenti (accuratezza sub-pixel); limitatamente ai modelli RPC0 e RPC1, su cui è possibile effettuare un confronto, si evidenzia che l'elaborazione della immagine di tipo Basic fornisce anche in questo caso risultati più accurati rispetto a quelli che si ottengono con il tipo Standard Ortho-Ready (Fig. 10).

ERDAS - WorldView-1 Basic							ERDAS - WorldView-1 Std. Oready				
RMSE Check Points (Pixel)							RMSE Check Points (Pixel)				
N° GCP	Rigoroso		RPC0		RPC1		N° GCP	RPC0		RPC1	
	E	N	E	N	E	N		E	N	E	N
6	0.69	0.83	0.93	0.85	0.78	0.85	6	1.68	1.58	1.48	1.55
9	0.64	0.80	0.93	0.81	0.66	0.82	9	1.67	1.47	1.21	1.43
12	0.66	0.78	0.93	0.84	0.70	0.80	12	1.66	1.42	1.25	1.38
15	0.65	0.77	0.93	0.80	0.70	0.78	15	1.66	1.34	1.22	1.31

Figura 10 – Accuratezza WorldView-1 con i modelli di ERDAS

Si può infine evidenziare che per tutti i test effettuati l'accuratezza generalmente si stabilizza a partire da un numero minimo di GCP compreso tra 6 e 9.

Conclusioni e prospettive future

La sperimentazione ha avuto come scopo la valutazione della qualità radiometrica e geometrica di immagini ad alta risoluzione QuickBird e WorldView-1.

L'analisi radiometrica, condotta tramite la stima del livello di rumore e della MTF, ha evidenziato:

- una sostanziale indipendenza del rumore rispetto all'intensità radiometrica per entrambe le piattaforme satellitari, tranne che ai 2 estremi dell'istogramma di frequenza dell'intensità radiometrica dove si nota una lieve correlazione
- una migliore risoluzione, in termini di MTF, in direzione cross-track rispetto alla direzione along-track per entrambe i satelliti

Le potenzialità geometriche dei 2 satelliti sono state valutate tramite test di orientamento condotti utilizzando sia il modello rigoroso, sia il modello delle funzioni polinomiali razionali (RPC di ordine 0 e 1), disponibili nei 2 software commerciali OrthoEngine 10.1 ed ERDAS Imagine 9.2

Dalle prove effettuate si può evidenziare che:

- il software OrthoEngine fornisce i migliori risultati (accuratezza sub-pixel) per le immagini QuickBird con il modello rigoroso e il modello RPC1, mentre le distorsioni geometriche delle immagini WorldView-1 sono corrette a livello sub-pixel con i modelli RPC0 e RPC1
- con il software ERDAS è possibile ottenere un livello di accuratezza sub-pixel per entrambe le immagini QuickBird solo con il modello RPC1; tutti e i 3 modelli di ERDAS forniscono risultati equivalenti (sub-pixel) per l'immagini WorldView-1 Basic, mentre risultati più scadenti si ottengono dall'immagine Standard Ortho-Ready
- per entrambi i software l'incremento del numero di GCP non migliora significativamente l'accuratezza dei modelli

I test presentati in questo lavoro costituiscono delle prove svolte su un set limitato di immagini sostanzialmente nadirali. Nel prossimo futuro si estenderanno i test ad immagini acquisite con differenti angoli di off-nadir e relative ad aree di diversa morfologia.

Bibliografia

Baiocchi, V., Crespi, M., De Vendictis, L., Giannone, F., 2004. Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici. Atti della 8^o Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 14-17 Dicembre 2004 (Italia) (relazione invitata).

Baltsavias, E. P., 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, Germany, 19-21 September (on CD-ROM).

Choi, T., 2002. IKONOS Satellite on Orbit Modulation Transfer Function (MTF) Measurement using Edge and Pulse Method. Master Thesis, South Dakota State University.

De Vendictis, L., 2007. Quality assessment and enhancement of High Resolution Satellite Imagery for DSM extraction. PhD Thesis, Area di Geodesia e Geomatica Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, Sapienza Università di Roma.

Giannone, F., 2006. A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation. PhD Thesis, Area di Geodesia e Geomatica Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, Sapienza Università di Roma.

Kohm, K., 2004. Modulation Transfer Function Measurement Method and Results for The OrbView-3 high resolution imaging satellite. IAPRS, Vol. 35, B1, pp. 7-12.

Leica, 2008. Manuale di ERDAS Software, v. 9.2.

PCI, 2006. Manual of Orthoengine Software, v.10. PCI Geomatics Enterprises Inc., Richmond Hill.