ANALISI DI MODELLI RIGOROSI PER L´ORIENTAMENTO DI SENSORI PUSHBROOM. APPLICAZIONI CON QUICKBIRD

Valerio BAIOCCHI (*), Francesca FRATARCANGELI (*), Francesca GIANNONE (*), Daniela POLI (**)

(*)DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "La Sapienza", via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy - francesca.giannone@uniroma1.it
(**)CyberCity AG, in der Luberzen 3, 8902 Urdorf, Svizzera - dpoli@cybercity.tv

Riassunto
L'elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione costituisce oggi una metodologia adatta per l'aggiornamento di cartografia a media scala, per la generazione di DEM e per estrazioni di elementi geometrici dalleimmagini.
In questo lavoro si analizzano i risultati ottenuti con due modelli rigorosi per l'elaborazione di una stereocoppia QuickBird: il primo modello (M1), implementato presso l'Area di Geodesia e Geomatica dall'Università di Roma "La Sapienza" e il secondo modello (M2), sviluppato presso l'Istituto di Geodesia e Fotogrammetria dell'ETH di Zurigo (le loro descrizioni approfondite non sono qui presenti).
La ricerca include l'orientamento di due immagini singole con il primo modello rigoroso (M1), l'orientamento di una coppia stereo con il secondo modello rigoroso (M2) e il confronto dei risultati con il modello implementato nel software commerciale OrthoEngine (PCI Geomatica).
I risultati dimostrano che con l'uso di modelli rigorosi è possibile raggiungere RMSE più piccoli di un pixel sui CP se si usa un sufficiente numero di GCP.

Abstract
The georeferencing of remote sensing images is a fundamental task in the photogrammetric processing for orthoimages and DEM generation and for 2D/3D feature extraction.
In this paper we analyse the results achieved from the georeferencing of a stereopair from QuickBird with two rigorous models: the first model (M1), implemented at the University of Rome "La Sapienza", by the Geodesy and Geomatics Team, the second model (M2), developed at ETH Zurich, Institute for Geodesy and Photogrammetry (in this work the models are not described).
The research included the orientation of the single images with rigorous model M1, the orientation of the stereo pair with rigorous model M2 and the comparison of the results with the rigorous model available in commercial software (PCI OrthoEngine). The results demonstrate that using rigorous models it is possible to achieve RMSE smaller than 1 pixel in the CPs if a sufficient number of GCPs are used.

Introduzione
La georeferenziazione di sensori ad alta risoluzione è divenuta oggetto di indagine per la sua applicazione in campo topografico, cartografico e nel campo del telerilevamento.
Molti dei satelliti ad alta risoluzione utilizzano array lineari di elementi CCD che scansionano la superficie terrestre in modalità *pushbroom*, e acquisiscono immagini stereo con scanner del tipo *along-track*. Per georiferire immagini acquisite da sensori *pushbroom* si possono utilizzare diversi approcci, in questo lavoro è stato analizzato l'approccio di tipo fotogrammetrico, in particolare sono

stati sviluppati due modelli rigorosi, basati sulle equazioni di collinearità, che descrivono l'esatta geometria di acquisizione dei sensori.
Tali modelli rigorosi sono stati utilizzati per orientare una coppia stereo della città di Augusta (Sicilia) acquisita dal satellite QuickBird. Il primo modello (M1), implementato presso l'Area di Geodesia e Geomatica dall'Università di Roma "La Sapienza", è usato per l'orientamento delle immagini singole, il secondo modello (M2) sviluppato presso l'Istituto di Geodesia e Fotogrammetria dell'ETH di Zurigo, è usato per la georeferenziazione simultanea in 3D delle immagini stereo.

Descrizione del lavoro
L'immagine utilizzata è una coppia stereo della città di Augusta (Sicilia) acquisita il 1 giugno del 2004 con un angolo di +/- 27° e con una risoluzione media a terra di 75 cm. Per l'orientamento sono stati utilizzati 39 punti noti a terra, rilevati con il GPS, con un'accuratezza planimetrica e altimetrica rispettivamente di 10 e 20 cm (figura 1). Sull'immagine sono state eseguite una serie di prove con un numero variabile di GCP e CP (figura 2).

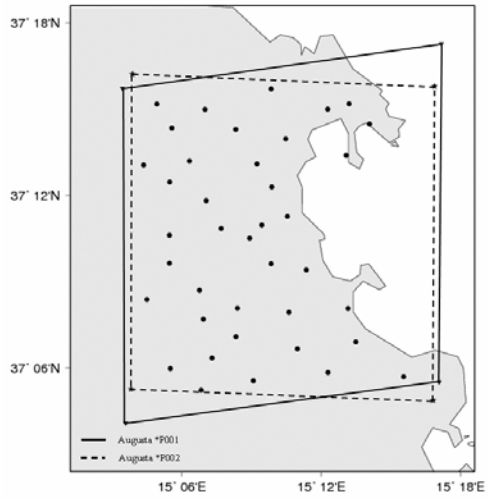

Figura 1.Distribuzione di 39 punti a terra

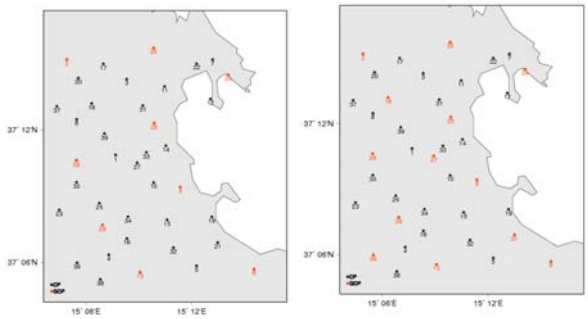

Figura 2. Distribuzione di 9 GCP (a destra) e 13 GCP (a sinistra).

Il processo di georeferienziazione include:

- l'orientamento delle immagini singole con il modello rigoroso M1, l'analisi dello RMSE dei GCP e dei CP in funzione del numero e della distribuzione dei GCP e i confronti con il sofware OrthoEngine
- l'orientamento della coppia stereo con il modello rigoroso M2, il confronto con i risultati ottenuti con OrthoEngine

Georeferenziazione delle immagini singole
Il primo modello rigoroso (M1) è adatto per l'orientamento di immagini acquisite da sensori *pushbroom.* Tale modello, implementato nel software SISAR, è basato sulle equazioni di collinearità che implicano la conoscenza di un insieme di parametri che descrivono la posizione, l'assetto e la geometria del sensore (orientamento interno e parametri di autocalibrazione). In particolare la posizione del satellite è descritta dai parametri Kepleriani dell'orbita, gli angoli di assetto sono invece descritti da equazioni derivanti dalla somma di un parametro noto dipendente dal tempo e da un polinomio di secondo grado dipendente anch'esso dal tempo.
I valori approssimati di questi parametri derivano dal file di metadati rilasciato insieme alle immagini. Alcuni di questi parametri vengono corretti sulla base di un numero di punti noti a terra (GCP-Ground Control Point), ben collimabili sull'immagine (Crespi et al., 2003; Baiocchi et al.,

2004; Fratarcangeli F., 2006). L'alta correlazione tra alcuni dei parametri stimabili determina un'instabilità del processo di stima (pseudo-singolarità) che viene risolta con la metodologia SVD (Singular Value Decomposition) (Golub et al., 1993; Strang et al., 1997), la quale permette di scegliere i parametri non determinabili dalle osservazioni e che quindi devono assumere il loro valore iniziale (approssimato). La significatività statistica dei parametri è controllata dal test di Fisher. Alla fine del processo di stima l'accuratezza ottenibile è valutata dallo RMSE dei residui delle coordinate dei CP, ricordando che i CP sono punti noti a terra non usati nel processo di stima.
La georeferenziazione è stata eseguita sia con il software SISAR che con il software commerciale OrthoEngine. La precisione del modello è valutata dallo scarto quadratico medio dei residui (RMSE) delle coordinate dei GCP, mentre lo RMSE dei residui delle coordinate dei CP rappresenta l'accuratezza ottenibile.
Riguardo alla precisione il software OrthoEngine mostra migliori risultati in particolare in direzione Est, tuttavia l'accuratezza media ottenibile è simile, circa 1.8 pixel per OrthoEngine e 2.0 pixel per SISAR. Le stesse accuratezze sono state ottenute da entrambi i software con 13 GCP.

Georeferenziazione della coppia stereo

Il secondo modello (M2) usato in questo lavoro è un modello rigoroso sviluppato per i sensori lineari di tipo *pushbroom*, montati sia sua aereo che su satellite. I parametri che modellano l'orientamento interno ed esterno del sensore vengono stimati ai minimi quadrati, usando un numero sufficiente di punti di controllo a terra. La posizione e l'assetto del sensore sono modellati con funzioni polinomiali a segmenti (*piecewise polynomials*) di secondo ordine in funzione del tempo. Con la auto-calibrazione, vengono stimati gli errori sistematici dovuti spostamento del punto principale, la variazione di lunghezza focale, la distorsione simmetrica e radiale della lente, la variazione della scala lungo la direzione del sensore e la rotazione del sensore nel piano focale. La scelta dei parametri incogniti di auto-calibrazione da stimare è basata sull'analisi della correlazione fra i parametri di auto-calibrazione, i parametri di orientamento esterno e le coordinate al suolo dei CP. I risultati sono analizzati in termini di accuratezza interna ed esterna, con la deviazione standard parametri incogniti e lo RMSE dei punti di controllo. Il modello è stato usato per l'orientamento dei sensori lineari montati su satellite, come MOMS-02, SPOT-5/HRS, ASTER-VNIR, EROS-A1 e MISR. Per maggiori dettagli, si veda (Poli, 2005).
Nel caso di Quickbird, i dati sul sensore, sulle immagini e sulla posizione e assetto del sensore erano disponibili nel metadata file. La georeferenziazione e' stata svolta in piu' tests, variando la distribuzioni di GCP (Figura 2) e vari parametri del modello matematico (numero di segmenti della funzione polinomiale e di gradi polinomiali per l'orientamento esterno che modella). I parametri di auto-calibrazione sono stati scelti in modo da evitare la correlazione con i parametri esterni di orientamento ed le coordinate dei punti del legame. I risultati più significativi sono stati raggiunti usando le funzioni quadratiche per la posizione e l'assetto del sensore e 2 segmenti. Per quanto riguarda l'orientamento interno, i parametri di auto-calibrazione che hanno influenzato il modello sono stati i quelli di distorsione radiale per entrambe le immagini. Cambiando il numero di GCP, da un minimo di 9 fino a 39, lo RMSE nei CP è variato da 0.8 fino a 1.8 pixel (GSD medio 0.75m) per la X, Y e la Z. In particolare, usando 13 GCP gli RMSE dei CP erano circa 0.90 m in planimetria e 0.80 m in elevazione (tabella 1). La distribuzione corrispondente dei residui è indicata nella figura 4.

	9 GCP			13 GCP		
	N [m]	E [m]	h [m]	N [m]	E [m]	h [m]
RMSE CP	1.22	1.14	1.08	0.92	0.89	0.77

Tabella 1. Risultati (RMSE) usando il modello rigoroso M2.

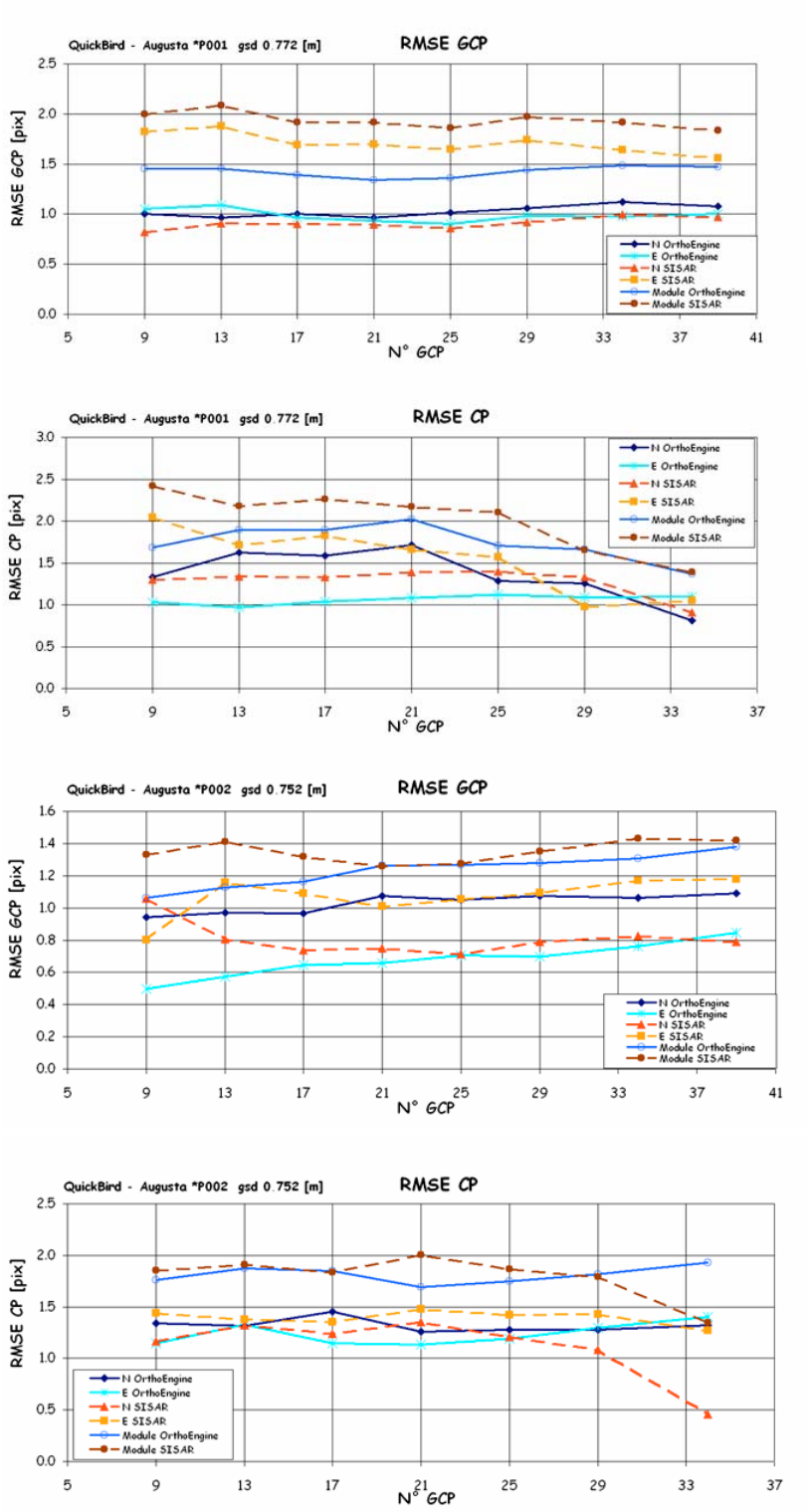

Figura 3-Precisione e accuratezza ottenuta con SISAR per le due immagini di Augusta all'aumentare del numero di GCP: immagine 1 (in alto), immagine 2 (in basso).

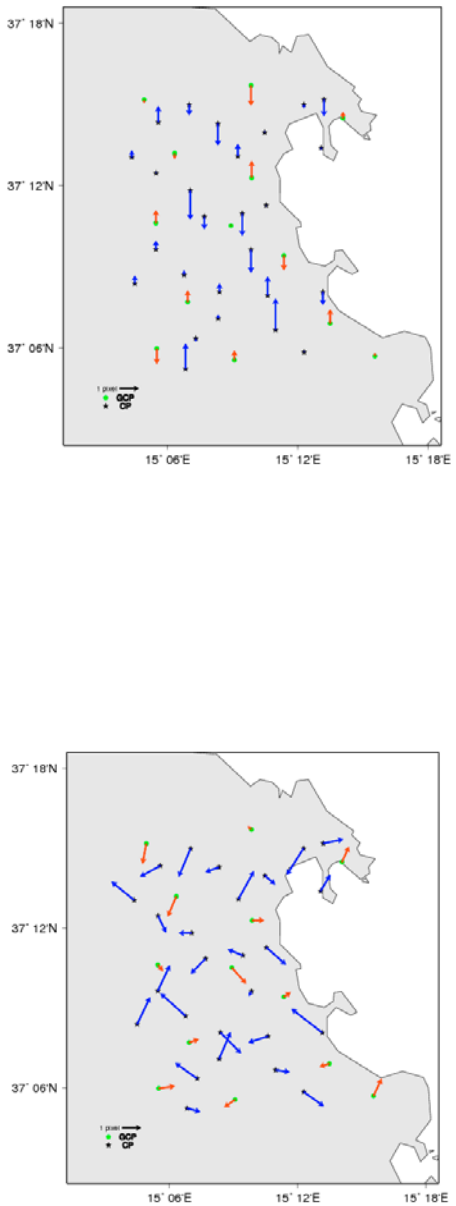

Figura 4-Distrubuzione dello RMSE dei GCP (segmento rosso) e dei CP (segmento blu) usando il modello rigoroso dell 'ETH con 13 GCP. In alto :errori in altimetria, in basso: errori in planimetria

Conclusioni

In questo lavoro è stata studiata la georeferenziazione con modelli rigorosi di una coppia stereo Quickbird acquisita sulla citta' di Augusta. La coppia è stata orientata sia separatamente (analisi 2D con il software SISAR) che simultaneamente (analisi 3D con il software ETH).

Nell'orientamento dell'immagine singola con un angolo di off-nadir significativo (approssimativamente di 27°), l'accuratezza ottenuta con 13 GCP è di circa 1.4 pixel sia per il software SISAR che per OrthoEngine.

Riguardo all'orientamento della coppia stereo con il software ETH, lo RMSE dei CP oscilla fra 0.8 e 1.8 pixel (GSD medio 0.75 m) per le X, Y, Z, e dipende dalla quantità dei GCP usatilizzati. In particolare usando 13 GCP lo RMSE dei CP è di 0.90 m in planimetria e di 0.80 in altimetria.

I risultati possono essere migliorati tenendo conto dell'acquisizione asincrona del sensore, infatti si è usato un valore costante dell'angolo di off-nadir, anche se in realta' esso e' leggermente variabile durante l'acquisizione. Una volta noto il valore di questa variazione, sara' possibile migliorare la descrizione fisica della geometria di acquisizione, come è stato nel caso del sensore EROS (Poli, 2005).

Lavori futuri includono l'estensione del software SISAR per il simultaneo orientamento delle stereocoppie non solo acquisite da QuickBird ma anche da altri sensori pushbroom con modalità di acquisizione di immagini stereo del tipo *along-track.*

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano sentitamente:

il Dott Fabio Volpe di Eurimage S.p.A. per aver messo a disposizione l'immagine di *QuickBird.*

Il presente lavoro si inquadra nell'attività di ricerca svolte nell'ambito dei progetti di ricerca cofinanziati dal MIUR:

COFIN 2005-Progetto nazionale: "Analisi, comparazione e integrazione di immagini digitali acquisite da piattaforma aerea e satellitare" (coord. nazionale Prof. Sergio Dequal)- Progetto unità locale:"Realization and updating of maps, digital terrain models and geographic databases by high resolution satellite imagery: methodological aspects and relevant applications" (coord. Prof. Mattia Crespi)

Bibliografia

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F., (2004). "A new rigorous model for the orthorectification of synchronous and asynchronous high resolution imagery". *24th EARSeL Symposium, Dubrovnik (Croatia),* pp. 461-468

Crespi M., Baiocchi V., De Vendictis L., Lorenzon F., Mezzapesa M. & Tius E., (2003). "A new method to orthorectify EROS A1 imagery". *Tyrrhenian International Workshop on Remote Sensing*, pp. 566-575

Fratarcangeli F., (2006). "Ortorettificazione di immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite dalla piattaforma QuickBird: sviluppo di un modello rigoroso ed implementazione di un software". *Tesi di laurea, Relatori: M. Crespi, F. Giannone*

Golub G. H., Van Loan C. F., (1993). "Matrix Computation". *The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.*

Poli, D., (2005). "Modelling of Spaceborne Linear Array Sensors". *Diss., Technische Wissenschaften ETH Zurich, Nr. 15894, 2005, IGP Mitteilung N. 85*.

Kaula W. M., (1966). "Theory of Satellite Geodesy" *Blaisdell Publishing Company*.

Noerdlinger P. D., (1999). " Atmospheric refraction effects in Earth remote sensing". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54 pp. 360–373.

Numerical Recipes in C (1992). "The Art of Scientific Computing". *Cambridge University Press (ISBN 0-521-43108-5), http://www.nr.com (accessed on April 10, 2006).*

Strang G., Borre K., (1997). "Linear Algebra, Geodesy and GPS". *Wellesley-Cambridge Press, Wellesley*.

Teunissen P. J. G., (2001). "Adjustment theory. Series on Mathematical Geodesy and Positioning", *Delft University Press*

Toutin T., (2004). "Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods", *International Journal of Remote Sensing* , 25 pp. 1893-1924.

Westin T., (1990). "Precision Rectification of SPOT Imagery Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", 56 pp. 247-253.