

ORIENTAMENTO DI IMMAGINI SATELLITARI IKONOS: IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO ORIGINALE NEL SOFTWARE SCIENTIFICO SISAR

Mattia CRESPI, Francesca FRATARCANGELI, Francesca GIANNONE, Francesca PIERALICE

DITS - Area di Geodesia e Geomatica, "Sapienza" Università di Roma – v. Eudossiana, 18 – 00184 Roma
Tel. ++39-0644585068 - Fax ++39-0644585515 - E-mail francesca.giannone@uniroma1.it

Riassunto

Obiettivi di questo lavoro sono stati la definizione e l'implementazione nel *software* scientifico SISAR di un modello rigoroso per l'orientamento delle immagini acquisite dal satellite ad alta risoluzione IKONOS, appartenenti alla classe GEO.

Il modello è stato testato su 7 immagini IKONOS e i risultati ottenuti con il *software* SISAR sono stati confrontati con quelli ottenuti con il *software* commerciale *OrthoEngine 10* (PCI Geomatica), nel quale è implementato il modello rigoroso sviluppato da *Thierry Toutin*.

I due *software* hanno presentato un comportamento simile rispetto all'accuratezza estraibile dall'immagine valutata in base allo RMSE degli scarti residui sui CP.

La robustezza del modello è stata valutata introducendo un *outlier* sulle coordinate a terra di un GCP. Il risultato è stato soddisfacente in quanto i valori di accuratezza non subiscono un significativo peggioramento con l'introduzione dell'errore.

Abstract

The main topics of this work are the definition and implementation in the scientific software SISAR of a rigorous model for the IKONOS GEO imagery orientation.

To test the effectiveness of the new model 7 IKONOS images have been oriented and SISAR results are compared with the results of rigorous model implemented in the software OrthoEngine 9.1 (PCI Geomatica) and developed by Thierry Toutin.

The comparison between the two software, SISAR and OrthoEngine, shows that in terms of image accuracy the two softwares show similar behaviors.

The model robustness has been evaluated introducing an outlier on the ground coordinates of a GCP; the robustness results are satisfactory, because the accuracy does not get worse significantly.

Introduzione

Le immagini satellitari ad alta risoluzione rappresentano una valida risorsa per applicazioni di tipo cartografico, come la produzione e l'aggiornamento di cartografia a media scala, o la generazione di modelli digitali del terreno (DEM).

Le immagini satellitari sono affette da distorsioni dovute a diversi fattori, quali il sistema di acquisizione (orientamento e movimento del satellite, caratteristiche ottico-geometriche del sensore), gli effetti di rifrazione atmosferica e l'effetto della morfologia del terreno; pertanto, affinché le immagini possano essere utilizzate in ambito cartografico, è necessario elaborarle, cioè sottoporle ad una correzione geometrica per eliminare le distorsioni.

Allo stato attuale i metodi di orientamento si dividono in due tipologie: modelli neri, come le funzioni polinomiali razionali (RPF), basati su relazioni puramente matematiche e modelli fisicamente basati (o rigorosi), che tengono conto del processo fisico-geometrico di generazione dell'immagine, ricostruito attraverso le equazioni di collinearità.

Dal 2003, il gruppo di ricerca del DITS (Area di Geodesia e Geomatica) ha sviluppato e implementato un *software* (SISAR - *Software Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione*) per l'orientamento rigoroso di immagini satellitari acquisite dalle piattaforme EROS A, QuickBird e IKONOS. In questo lavoro l'attenzione è stata focalizzata soltanto sul modello rigoroso per IKONOS; per le altre piattaforme si rimanda a precedenti pubblicazioni (Crespi, 2007).

Il modello rigoroso per le immagini IKONOS

Il modello rigoroso per IKONOS è molto diverso da quello sviluppato per i satelliti EROS A e QuickBird, in quanto le immagini IKONOS GEO distribuite da *Space Imaging* non sono immagini grezze, ma vengono sottoposte ad una proiezione su un ellissoide “gonfiato” ad una quota di riferimento. Le equazioni di collinearità [1] stabiliscono quindi una relazione tra le coordinate dei punti a terra e le rispettive coordinate immagine proiettate sull'ellissoide “gonfiato”; diversamente, nel classico approccio fotogrammetrico, la relazione di collinearità è stabilita tra le coordinate a terra e le rispettive coordinate sul piano dell'immagine.

$$\begin{cases} \frac{X_I - X_S}{Z_I - Z_S} = \frac{(X_T - X_S) + a \cdot (Y_T - Y_S) + b \cdot (Z_T - Z_S)}{-b \cdot (X_T - X_S) - c \cdot (Y_T - Y_S) + (Z_T - Z_S)} \\ \frac{Y_I - Y_S}{Z_I - Z_S} = \frac{-a \cdot (X_T - X_S) + (Y_T - Y_S) + c \cdot (Z_T - Z_S)}{-b \cdot (X_T - X_S) - c \cdot (Y_T - Y_S) + (Z_T - Z_S)} \end{cases} \quad [1]$$

X_T, Y_T, Z_T sono le coordinate a terra dei punti di controllo, X_I, Y_I, Z_I sono le coordinate immagine (proiettate sull'ellissoide) dei punti di controllo e X_S, Y_S, Z_S sono le coordinate del satellite; tutte le coordinate sono espresse nel sistema ECEF (*Earth-Centered Earth-Fixed system*).

La variazione nel tempo dei parametri di orientamento a, b, c può essere espressa attraverso una funzione del secondo ordine dipendente dalla riga di acquisizione J_s [2].

$$\begin{aligned} a &= a_0 + a_1 \cdot J_s + a_2 \cdot J_s^2 \\ b &= b_0 + b_1 \cdot J_s + b_2 \cdot J_s^2 \\ c &= c_0 + c_1 \cdot J_s + c_2 \cdot J_s^2 \end{aligned} \quad [2]$$

Il valore dei parametri di orientamento ($a_0, b_0, c_0, a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$) è determinato con una stima ai minimi quadrati, utilizzando un set di punti di controllo (GCP). La stima ai minimi quadrati è associata ad un test di *Fisher* per valutare la significatività dei parametri stimati.

Le coordinate immagine da inserire nelle equazioni di collinearità vengono ricavate con la seguente procedura:

- Dalla collimazione dei GCP sull'immagine si ricavano le coordinate in pixel I e J
- Per ogni punto vengono ricavate le coordinate cartografiche N ed E

$$\begin{cases} N = N_A - J \cdot p \\ E = E_A + I \cdot p \end{cases} \quad [3]$$

dove N_A, E_A sono le coordinate cartografiche dello spigolo dell'immagine in alto a destra e p è la dimensione del pixel in metri.

- Ai punti di controllo viene assegnata una quota ellissoidica pari alla quota di riferimento dell'ellissoide “gonfiato” contenuta nel file di metadata.

• Dalle N, E, h vengono ricavate le coordinate immagine in ECEF (X_I, Y_I, Z_I) (Baiocchi, 2006). La posizione del satellite può essere calcolata attraverso gli angoli denominati *nominal collection azimuth* e *nominal collection elevation* (Figura 1), il cui valore è indicato nel file di metadata; tali parametri permettono di calcolare un'unica posizione che può essere riferita al centro dell'immagine.

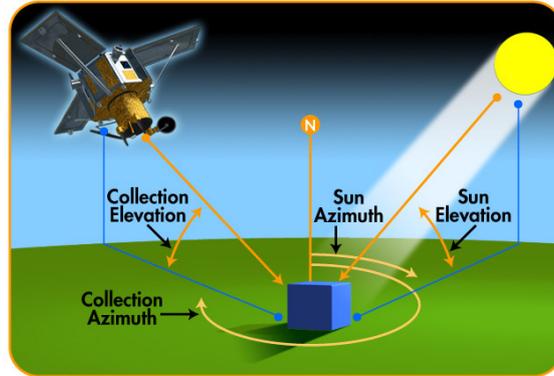


Figura 1 - Parametri di acquisizione (fornita da C.Flingelli, Europe SpaceImaging)

A partire da questa posizione approssimata è possibile calcolare con maggiore precisione una posizione del satellite per ogni punto di controllo. Tale calcolo deve essere effettuato nel sistema orbitale, individuato dall'inclinazione dell'orbita (i) e dall'ascensione retta del nodo ascendente (Ω) (Figura 2).

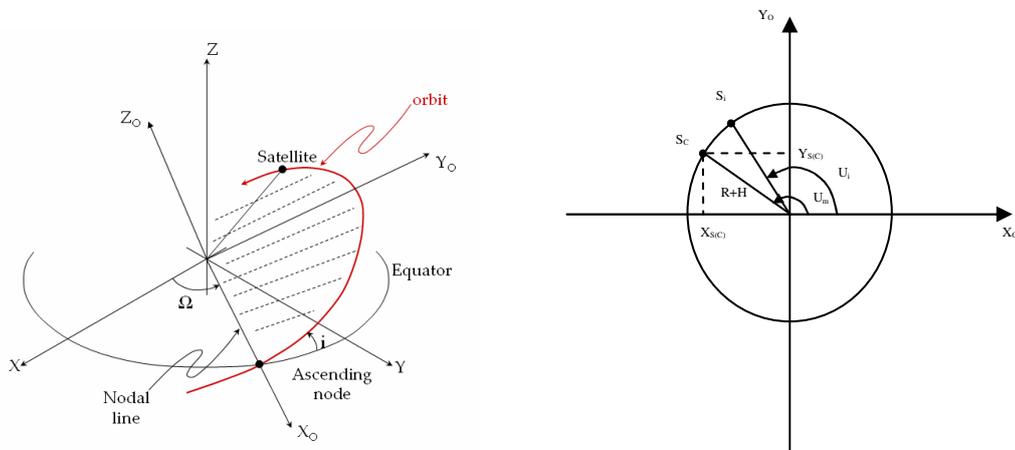


Figura 2 - Rappresentazione del sistema orbitale Figura 3 - Posizione del satellite sul piano orbitale

L'angolo U_i (Figura 3), che individua la posizione del satellite nel sistema orbitale riferita al GCP i -esimo, può essere calcolato con la relazione [4], in cui ΔU rappresenta lo spostamento angolare del satellite per ogni riga di acquisizione, U_C è l'angolo che individua la posizione del satellite riferita al centro dell'immagine, J_{SC} e J_{Si} sono rispettivamente la riga di acquisizione del centro dell'immagine e del GCP i -esimo.

$$U_i = U_C - (J_{SC} - J_{Si}) \cdot \Delta U \quad [4]$$

Noti gli angoli U_i , è possibile calcolare una posizione del satellite per ogni GCP nel sistema orbitale, e poi, attraverso opportune matrici di rotazione, esprimere la posizione del satellite in coordinate ECEF.

Risultati

Si riportano i risultati ottenuti con l'orientamento di 2 immagini IKONOS GEO, scelte tra le 7 immagini utilizzate per la validazione del modello sviluppato.

Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche delle immagini. I punti controllo utilizzati per l'immagine di Roma sono stati acquisiti attraverso rilievo GPS (precisione tra 0.1 e 0.3 m), mentre le coordinate dei punti di controllo dell'immagine della Sardegna sono state estratte da cartografia, scala 1:10000 (precisione tra 1 e 2 m).

ID Image	Area	GSD [m]	Copertura (Km×Km)	GP	Off-Nadir (°)	Collection Azimuth (°)	Scan Azimuth (°)	Scan Direction
po_15194	Roma	1.0	12 × 13	27	18.72	268.56	90.05	Forward
po_2609247_0030006	Buddusò (Sardegna)	0.8	11 × 12	30	11.07	43.94	180.03	Reverse

Tabella 1 - Caratteristiche delle immagini

Per ogni immagine è stata effettuata una valutazione della precisione del modello e della accuratezza estraibile dall'immagine (secondo il metodo HOV, *Hold-Out Validation*) (Brovelli, 2006), rispettivamente analizzando il valore di RMSE ottenuto sui GCP e sui CP.

Su entrambe le immagini sono state eseguite 5 prove, incrementando il numero di GCP usati per l'orientamento ad ogni prova. Nei seguenti grafici sono riportati i risultati ottenuti con il *software* SISAR e con il *software* commerciale *OrthoEngine 10*.

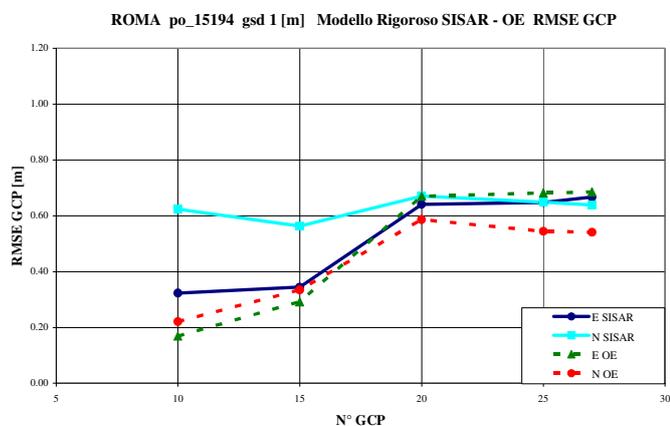


Figura 4 - Andamento della precisione dei modelli al variare del numero di GCP (RMSE sui GCP) - Roma

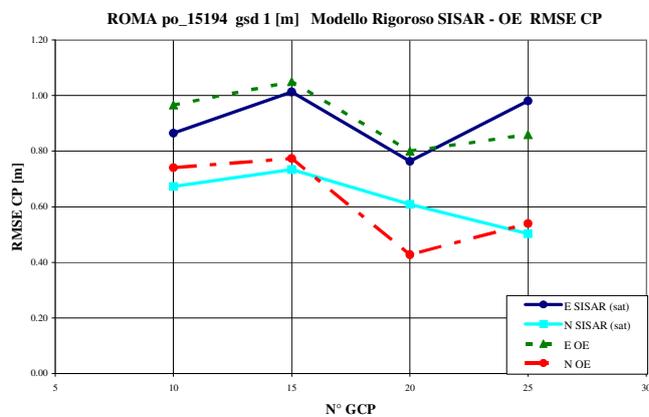


Figura 5 - Andamento dell'accuratezza dell'immagine al variare del numero di GCP (RMSE sui CP) - Roma

Dai grafici relativi all'immagine di Roma (Figure 4 e 5), emerge che il comportamento dei due *software* è simile sia per quanto riguarda la precisione del modello (RMSE sui GCP) che per l'accuratezza estraibile dall'immagine (RMSE sui CP).

Per quanto riguarda l'immagine della Sardegna (Figure 6 e 7), i valori di RMSE sui GCP calcolati con il modello di SISAR sono più alti rispetto a quelli di *OrthoEngine*; nonostante ciò i residui sui CP ottenuti con i due *software* sono confrontabili tra loro e quindi i due modelli permettono di raggiungere lo stesso livello di accuratezza.

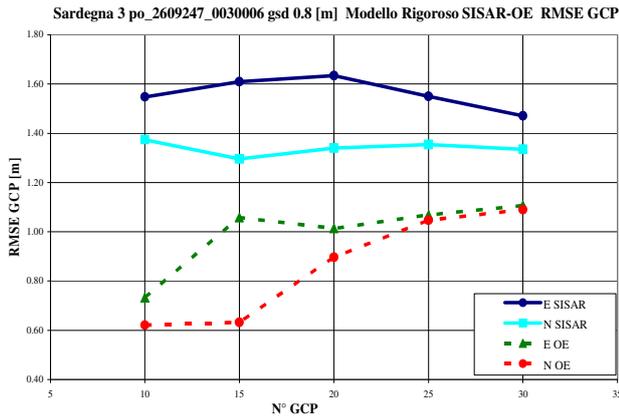


Figura 6 - Andamento della precisione dei modelli al variare del numero di GCP (RMSE sui GCP) - Sardegna

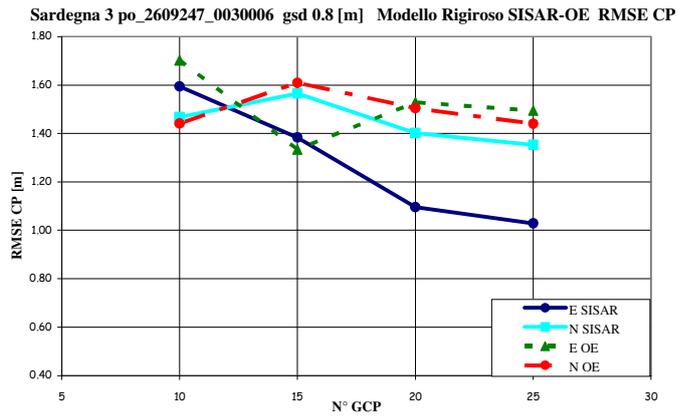


Figura 7 - Andamento dell'accuratezza dell'immagine al variare del numero di GCP (RMSE sui CP) - Sardegna

Analisi della robustezza del modello

Il test di robustezza è stato effettuato introducendo un errore sulle coordinate a terra di un GCP. Si riportano i risultati sull'immagine di Roma, per la quale su uno dei 15 GCP usati per l'orientamento è stato introdotto un errore ϵ di 4 metri sulle coordinate X, Y, Z. L'errore viene scelto in modo tale che risulti essere pari a 4÷5 volte lo scarto quadratico medio ottenuto nelle prove di orientamento condotte con 15 GCP in assenza di outlier. Anche in questo caso i risultati ottenuti con il software SISAR sono stati confrontati con quelli di OrthoEngine (Tabella 2 e Figura 8).

15 GCP 12 CP	SISAR		OrthoEngine	
	Est	Nord	Est	Nord
NO OUTLIER				
RMSE GCP [m]	0.34	0.56	0.29	0.33
RMSE CP [m]	1.01	0.73	1.05	0.77
Residuo sul GCP 23	-0.10	-0.17	-0.21	0.11
Residuo normalizzato sul GCP 23	-0.30	-0.30	-0.73	0.32
OUTLIER				
RMSE GCP [m]	1.28	0.56	1.20	0.35
RMSE CP [m]	1.16	0.73	1.16	0.78
Residuo sul GCP 23	-4.34	-0.01	-3.78	0.36
Residuo normalizzato sul GCP 23	-3.39	-0.02	-3.14	1.04

Tabella 2 – Risultati del test di robustezza sull'immagine di Roma

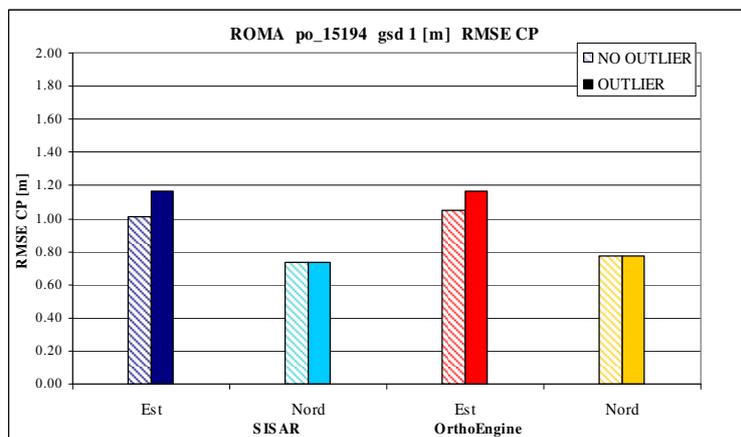


Figura 8 – Accuratezze ottenute con e senza outlier

Il modello ha risposto in modo positivo alla verifica di robustezza, in quanto l'accuratezza non subisce significativi peggioramenti in presenza dell'*outlier*, inoltre i due *software* mostrano un comportamento simile per le componenti Est e Nord.

Conclusioni e prospettive future

La sperimentazione del modello rigoroso per l'orientamento delle immagini IKONOS è stata condotta su 7 immagini appartenenti alla categoria GEO. I risultati ottenuti con il *software* SISAR sono stati confrontati con quelli ottenuti con il *software* commerciale *OrthoEngine*.

In termini di precisione del modello *OrthoEngine* ha restituito su diverse immagini dei risultati migliori rispetto a SISAR; al contrario i risultati dei due *software* sono simili in termini di accuratezza.

È stato anche effettuato un test introducendo un *outlier* sulle coordinate a terra di un GCP per valutare la robustezza del modello. Il risultato è stato positivo in quanto i valori di accuratezza non subiscono un significativo peggioramento con l'introduzione dell'errore, ma soltanto sul punto affetto da errore si riscontrano residui più elevati.

Attualmente oltre al modello rigoroso per Eros A, QuickBird e IKONOS, altri modelli di orientamento sono implementati nel *software* SISAR, in particolare il modello rigoroso per l'orientamento di stereocoppie QuickBird e il modello per l'estrazione e l'utilizzo degli RPC.

In futuro si prevede l'estensione del *software* all'orientamento di stereocoppie CARTOSAT-1, immagini Eros B, stereocoppie IKONOS e immagini QuickBird-OrthoReady.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Giorgio Pittau e l'Arch. Francesco Cilloccu del Servizio Cartografico della Regione Sardegna per aver messo a disposizione le immagini IKONOS.

Si ringrazia anche Christine Flingelli, di *Europe Space Imaging*, per la sua disponibilità nell'aver fornito chiarimenti in merito al file di metadata.

Si ringraziano il Dott. Valerio Baiocchi e l'Ing. Marco Mezzapesa per aver fornito la routine *CARTOtoGEO* del *software* GEOTRASFORMER, per la trasformazione di coordinate.

Bibliografia

Baiocchi V., Fabiani U., Mezzapesa M., Saburri P. (2006), "Metodi e modelli di trasformazione di coordinate e di DATUM per il territorio nazionale", *Atti X Conferenza ASITA*, Bolzano

Brovelli M.A., Crespi M., Fratarcangeli F., Giannone F., Realini E. (2006), "Approccio LOOCV per l'analisi dell'accuratezza di immagini ad alta risoluzione", *Atti X Conferenza ASITA*, Bolzano

Crespi M., Fratarcangeli F., Giannone F., Pieralice F. (2007), "SISAR: a rigorous orientation model for synchronous and asynchronous pushbroom sensors imagery", *Presentato a ISPRS Commission 1*, Hannover

Giannone F. (2006), "A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation", Tesi di Dottorato, Tutor: M. Crespi, disponibile sul sito:

<http://w3.uniroma1.it/geodgeom/personale.htm#DottoriRicerca>

Pieralice F. (2007), "Orthorectification of IKONOS High Resolution Satellite Imagery: definition, implementation and accuracy assessment of an original orientation model", Tesi di Laurea in Ingegneria Ambiente e Territorio, Relatori: M. Crespi, U. Fabiani, F. Fratarcangeli, F. Giannone