

# GENERAZIONE ED UTILIZZO DI RPC PER L'ORIENTAMENTO DI IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE

Michele BIANCONI, Mattia CRESPI, Francesca FRATARCANGELI, Francesca GIANNONE

DITS - Area di Geodesia e Geomatica, "Sapienza" Università di Roma – v. Eudossiana, 18 – 00184 Roma  
Tel. ++39-0644585087 - Fax ++39-0644585515 - E-mail [francesca.fratarcangeli@uniroma1.it](mailto:francesca.fratarcangeli@uniroma1.it)

## Riassunto

La disponibilità commerciale di immagini satellitari ad alta risoluzione ha aperto nuove opportunità per l'uso operativo di dati telerilevati per i quali è richiesto un processamento geometrico (orientamento). Molte società che gestiscono immagini satellitari usano per l'orientamento le Funzioni Polinomiali Razionali (RPF) con i Coefficienti Polinomiali Razionali (RPC) generati segretamente dal loro modello rigoroso.

Il presente lavoro è diviso in due parti: la prima parte riguarda la definizione di un algoritmo per l'applicazione degli RPC forniti insieme alle immagini QuickBird e Ikonos II, migliorandone i risultati con la stima di alcuni parametri addizionali sulla base di alcuni *Ground Control Point* (GCP); la seconda riguarda la definizione di un algoritmo innovativo per l'estrazione degli RPC dal modello rigoroso di due satelliti – QuickBird e EROS A - utilizzando un *terrain independent approach*. Entrambi gli algoritmi sono stati sviluppati presso l'Area di Geodesia e Geomatica della Sapienza Università di Roma e inseriti nel software scientifico SISAR (Software per Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione). Tutti e due i metodi sono stati testati su immagini con differenti caratteristiche; per ogni immagine è stata valutata l'accuratezza calcolando RMSE dei CP. I risultati di SISAR sono stati confrontati con quelli ottenuti con due software commerciali (OrthoEngine v.10 e Erdas v.8.6) mostrando ottimi risultati sia nell'applicazione che nella generazione degli RPC.

## Abstract

*In the last years the commercial availability of high resolution satellite data has opened a large number of new opportunities for the operative use of the Remote Sensing data. The geometrical processing (orientation) of satellite data is required. Many satellite imagery vendors have considered the use of Rational Function Models (RFM) with Rational Polynomial Coefficients (RPC), secretly generated from their rigorous sensor model to orientation.*

*The present research is divided in two main parts. The former concerns with the definition of an algorithm for the Rational Polynomial Coefficients (RPC) application, supplied with QuickBird and Ikonos II imagery. In order to upgrade the results a refinement model was developed, estimating some additional parameters on the basis of available Ground Control Points (GCP). The latter considers the definition of an innovative algorithm for the RPC extraction from the rigorous sensor model of two satellites – QuickBird and EROS A - utilizing a terrain independent approach. Both algorithms are developed at the Section of Geodesy and Geomatics of "Sapienza", University of Rome and embedded in the software SISAR (Software per Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione). All methods were tested on images with different features; for each image the accuracy were assessed computing RMSE of CP residuals. The SISAR results were compared with the results obtained by two commercial software (OrthoEngine v. 10.0 and ERDAS v 8.6) and they show optimal results both in RPC application and RPC generation.*

## Introduzione

Solo da pochi anni sono disponibili, con diversi livelli di processamento e a basso costo, immagini satellitari ad alta risoluzione (Ikonos II, QuickBird e le recenti EROS B). Una delle principali problematiche legate all'utilizzo delle immagini satellitari è la loro correzione geometrica (orientamento) necessaria per eliminare le distorsioni causate dalla modalità di acquisizione dell'immagine stessa. Allo stato attuale i modelli di orientamento si dividono in due grandi categorie: i modelli rigorosi basati su un approccio di tipo fotogrammetrico che tengono conto della posizione, dell'assetto e delle caratteristiche interne del satellite e i *Rational Polynomial Functions* (RPF) dove il modello del sensore è parametrizzato nei *Rational Polynomial Coefficients* (RPC) segretamente generati dalle compagnie che gestiscono le diverse piattaforme satellitari e forniti insieme alle immagini.

Presso l'Area di Geodesia e Geomatica dell'Università "Sapienza" di Roma è stato condotto uno studio sull'applicazione degli RPC e la loro generazione implementando un algoritmo nel software scientifico SISAR.

## Applicazione degli RPC

Alcune compagnie che gestiscono le diverse piattaforme satellitari (QuickBird e Ikonos II) forniscono insieme alle immagini gli RPC per il loro orientamento con il modello RPF.

In questo modello le coordinate (latitudine  $\varphi$ , longitudine  $\lambda$  e quota ellissoidica  $h$ ) di un punto nello spazio oggetto sono legate alle coordinate (I, J) del corrispondente punto nello spazio immagine attraverso funzioni polinomiali razionali:

$$\begin{aligned} I &= \frac{P_1(\varphi, \lambda, h)}{P_2(\varphi, \lambda, h)} = \frac{a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + a_4\lambda\varphi + \dots + a_{17}\lambda^3 + a_{18}\varphi^3 + a_{19}h^3}{1 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda\varphi + \dots + b_{17}\lambda^3 + b_{18}\varphi^3 + b_{19}h^3} \\ J &= \frac{P_3(\varphi, \lambda, h)}{P_4(\varphi, \lambda, h)} = \frac{c_0 + c_1\lambda + c_2\varphi + c_3h + c_4\lambda\varphi + \dots + c_{17}\lambda^3 + c_{18}\varphi^3 + c_{19}h^3}{1 + d_1\lambda + d_2\varphi + d_3h + d_4\lambda\varphi + \dots + d_{17}\lambda^3 + d_{18}\varphi^3 + d_{19}h^3} \end{aligned} \quad [1]$$

dove  $a_j$ ,  $b_j$ ,  $c_j$ ,  $d_j$  sono gli RPC.

Il numero dei coefficienti dipende dal grado del polinomio: se le equazioni [1] sono scritte con polinomi del terzo ordine il numero massimo di coefficienti è 80 (20 per ogni polinomio), ridotto a 78 perché le due equazioni sono divise rispettivamente per  $b_0$  e  $d_0$ .

Le coordinate a terra ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), rappresentate nell'equazione [1] sono normalizzate usando come parametri di normalizzazione quelli forniti nel file rilasciato insieme alle immagini (metadata file); questa operazione è necessaria per migliorare la precisione numerica durante il calcolo.

La generica formula utilizzata per la normalizzazione è:

$$T_n = \frac{T - T_{\text{offset}}}{T_{\text{scale}}} \quad [2]$$

dove  $T_n$  è la coordinata normalizzata,  $T_{\text{offset}}$  e  $T_{\text{scale}}$  sono i parametri di normalizzazione (forniti dal metadata file) e  $T$  rappresenta la coordinata a terra o la coordinata immagine ( $T = I, J, \varphi, \lambda, h$ ).

Le coordinate a terra normalizzate e gli RPC sono inseriti nell'equazione [1] restituendo le coordinate immagine normalizzate. Quest'ultime vengono denormalizzate usando l'inversa dell'equazione [2] e confrontate con le coordinate immagine collimate. Da questo confronto si evidenziano dei *bias* in entrambe le coordinate (Figura 1.a) che possono essere corretti introducendo un modello di raffinamento o nello spazio oggetto o nello spazio immagine (Figura 1b).

Il modello di raffinamento consiste nell'introduzione di un polinomio del primo ordine nelle equazioni [1]:

$$\begin{aligned} I_n^{(i)} &= A_0 + I_n^{(i-1)} \cdot A_1 + J_n^{(i-1)} \cdot A_2 + \frac{P_1(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{P_2(\varphi_n, \lambda_n, h_n)} \\ J_n^{(i)} &= B_0 + J_n^{(i-1)} \cdot B_1 + I_n^{(i-1)} \cdot B_2 + \frac{P_3(\varphi_n, \lambda_n, h_n)}{P_4(\varphi_n, \lambda_n, h_n)} \end{aligned} \quad [3]$$

dove  $A_i$  e  $B_i$  sono determinati con un processo di stima a minimi quadrati iterativa sulla base di un opportuno numero di GCP e descrivono o una semplice traslazione ( $A_0, B_0$ ) o una trasformazione affine ( $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ ) (Fraser, 2003)

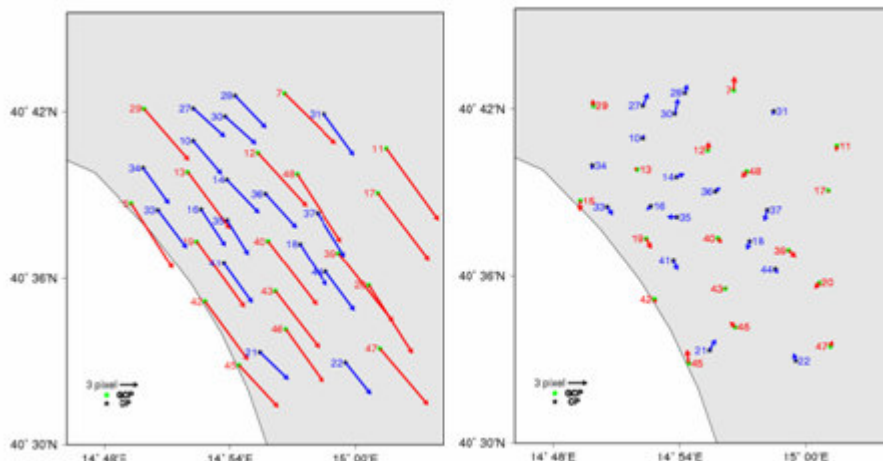


Figura 1 – Esempio di immagine non corretta (a) e corretta con una trasformazione affine (b)

Alla fine del processo di stima l'accuratezza ottenuta è valutata dallo RMSE sui CP, ricordando che i CP non sono usati nel processo di stima del modello.

### Generazione degli RPC

Gli RPC sono generati usando un *terrain independent approach* (Tao, Hu., 2001) che consiste nella costruzione di una griglia 2D che ricopre l'intera immagine, i cui punti sono utilizzati per generare la corrispondente griglia 3D nello spazio oggetto. Per ogni punto della griglia 2D partono le equazioni di collinearità del modello rigoroso che intersecano n ellissoidi concentrici al WGS 84. Il numero n di ellissoidi è pari al numero di *layers* in cui si è deciso di suddividere l'intero *range* di quote dell'immagine. Per cui ad ogni punto della griglia 2D corrispondono n punti della griglia 3D (uno per ogni *layer*). La coordinata altimetrica di un punto della griglia 3D è individuata dalla quota del *layer*, mentre le coordinate planimetriche sono individuate dalle coordinate geografiche ottenute intersecando le equazioni di collinearità con l'ellissoide “gonfiato” della quota del *layer*.

Gli RPC sono calcolati con un processo di stima a minimi quadrati usando nell'equazione [4] come  $I_n, J_n, \varphi_n, \lambda_n, h_n$  le coordinate normalizzate appartenenti alle due griglie precedentemente descritte (Tao, Hu., 2000).

$$\begin{aligned} I_n + b_1 \lambda_n I_n + \dots + b_{17} \lambda_n^3 I_n + b_{18} h_n^3 I_n - a_0 - a_1 \varphi_n - \dots - a_{18} \lambda_n^3 - a_{19} h_n^3 &= 0 \\ J_n + d_1 \lambda_n J_n + \dots + d_{17} \lambda_n^3 J_n + d_{18} h_n^3 J_n - c_0 - c_1 \varphi_n - \dots - c_{18} \lambda_n^3 - c_{19} h_n^3 &= 0 \end{aligned} \quad [4]$$

Tali coordinate sono normalizzate secondo l'equazione [2] con parametri di normalizzazione calcolati nel seguente modo:

$$\begin{cases} w_{\text{offset}} = \min(w_k) \\ w_{\text{scale}} = \max(w_k) - \min(w_k) \\ \mathbf{I}_{\text{offset}} = \mathbf{J}_{\text{offset}} = \mathbf{1} \\ \mathbf{I}_{\text{scale}} = n^{\circ} \text{col} - 1 \\ \mathbf{J}_{\text{scale}} = n^{\circ} \text{rig} - 1 \end{cases} \quad \text{dove} \quad \begin{cases} w = \varphi, \lambda, h \\ n^{\circ} \text{col} / n^{\circ} \text{rig} = \text{numero di colonne / righe dell'immagine} \\ k = \text{punti della griglia 3D} \end{cases} \quad [5]$$

Un'analisi approfondita del modello implementato ha evidenziato l'esistenza di alte correlazioni tra i coefficienti (RPC) stimati provocando un'instabilità del modello; in generale tale problema è risolto tramite la regolarizzazione di Tichonov (Neumaier, 1998). Nel software *SISAR* si è utilizzata una procedura innovativa basata su due decomposizioni (SVD-Singular Value Decomposition e QR) per la selezione automatica dei coefficienti realmente stimabili (Golub, 1993) e sul test *t-Student* per la selezione dei parametri significativi.

### Risultati

Gli algoritmi sono stati testati su tre immagini tutte della località di Roma acquisite da tre diverse piattaforme satellitari: Ikonos II, EROS A e QuickBird. La prima immagine è usata per testare

l'algoritmo di applicazione degli RPC, la seconda per testare l'algoritmo di generazione e l'ultima per testare entrambi gli algoritmi. Le tre immagini coprono aree di diversa dimensione; i punti di controllo utilizzati (27 per l'immagine IKONOS, 49 per le immagini QuickBird e EROS A) sono collocati solo sull'area in comune alle tre immagini e sono stati acquisiti con rilievi GPS (precisione tra 0.1 e 0.2 m). I risultati presentati derivano da tre diversi livelli di processamento: semplice applicazione degli RPC, traslazione e trasformazione affine. Nella semplice applicazione degli RPC, tutti i punti a disposizione per ogni immagine sono utilizzati come CP. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti con due software commerciali: OrthoEngine v.10 e Erdas v.8.6.

### Risultati dell'applicazione degli RPC

La semplice applicazione degli RPC, per l'immagine di Ikonos, produce buone accuratze (~2 pixel) in SISAR e OrthoEngine con differenze tra i due software di pochi centimetri mentre Erdas mostra un comportamento anomalo nella componente I. Per l'immagine di QuickBird l'accuratezza ottenuta dalla semplice applicazione degli RPC è simile tra i tre software e dell'ordine delle decine di metri (Tabella 1).

|           |       | RMSE CP [pix] |       |             |       |       |       |
|-----------|-------|---------------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|           |       | SISAR         |       | OrthoEngine |       | Erdas |       |
|           | n° CP | I             | J     | I           | J     | I     | J     |
| Ikonos    | 27    | 2.23          | 2.24  | 2.88        | 2.72  | 14.26 | 3.06  |
| QuickBird | 49    | 49.34         | 17.79 | 49.91       | 17.32 | 49.92 | 14.38 |

Tabella 1 - Accuratezza nel caso di semplice applicazione degli RPC

Per le immagini Ikonos II e QuickBird si evidenziano comportamenti simili tra i tre software applicando la trasformazione affine per la prima immagine (Figura 2.a) e la sola traslazione per la seconda immagine (Figura 2.b).

Per entrambe le immagini, con pochi GCP si possono notare dei comportamenti anomali nella componente I: per la prima immagine SISAR e Erdas evidenziano un aumento dello RMSE rispetto ad OrthoEngine in corrispondenza di 4 GCP, mentre per la seconda immagine OrthoEngine mostra una peggiore accuratezza (fino a 4 GCP).

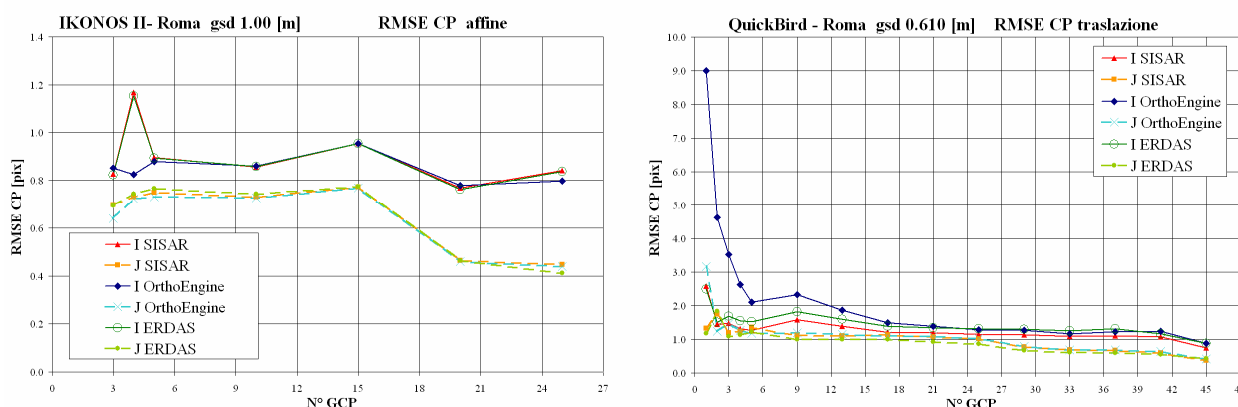


Figura 2 - Andamento dell'accuratezza nel caso della trasformazione affine per Ikonos (a) e della traslazione per QuickBird (b)

### Risultati della generazione degli RPC

Il software SISAR è in grado, allo stato attuale, di generare gli RPC per i satelliti QuickBird ed EROS A. Gli RPC generati sono poi organizzati in file appositi in modo che siano utilizzabili da altri software.

Gli RPC sono stati generati a partire dai modelli rigorosi già implementati nel software SISAR utilizzando una griglia 3D (15x15x15). Grazie alla procedura di selezione degli RPC implementata il numero di quest'ultimi si è ridotto di circa 1/3 del totale (Tabella 2).

| satellite | n° RPC totali | n° RPC stimati |
|-----------|---------------|----------------|
| QuickBird | 78            | 26             |
| EROS A    | 78            | 21             |

Tabella 2 - Numero di RPC generati da SISAR per i satelliti QuickBird ed EROS A

Gli RPC generati per il satellite QuickBird sono stati testati inserendoli nei due software commerciali (OrthoEngine e Erdas) e confrontati con gli RPC forniti dal metadata file. Per EROS A invece, non disponendo di RPC forniti dal metadata file, il confronto è stato eseguito utilizzando due modelli del software OrthoEngine: il rigoroso e il modello RPF con RPC generati da SISAR. Per l'immagine Quickbird, la semplice applicazione degli RPC di SISAR evidenzia risultati anomali per il software Erdas (Tabella 3), ma con accuratezze di gran lunga più basse se confrontate con i risultati ottenuti con l'applicazione degli RPC forniti dal metadata (Tabella 1).

|           |      | RMSE CP [pix] |      |             |      |       |      |
|-----------|------|---------------|------|-------------|------|-------|------|
|           |      | SISAR         |      | OrthoEngine |      | Erdas |      |
|           | n°CP | I             | J    | I           | J    | I     | J    |
| QuickBird | 49   | 0.69          | 0.82 | 0.81        | 0.80 | 6.60  | 3.23 |

Tabella 3 - Andamento dell'accuratezza nel caso di semplice applicazione degli RPC

Sia con l'applicazione della traslazione che della trasformazione affine i risultati ottenuti usando in OrthoEngine gli RPC generati da SISAR evidenziano una migliore accuratezza rispetto a quella ottenuta con gli RPC forniti dal metadata file ed inseriti nel medesimo software (Figura 3a, 3b). Nel software Erdas le accuratezze ottenute con gli RPC del metadata file sono confrontabili con quelle ottenute con gli RPC di SISAR (Figura 4a, 4b).

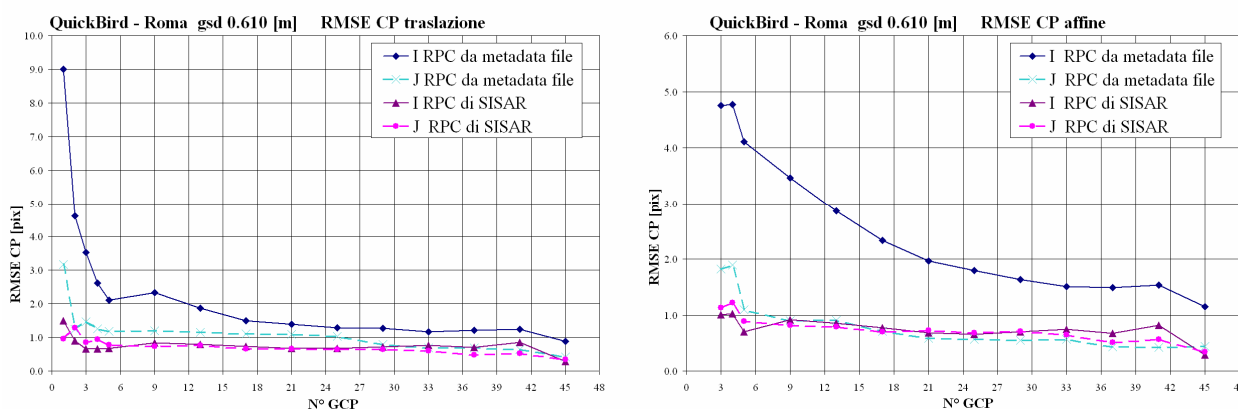


Figura 3 - Confronto delle accuratezze ottenute nel software OrthoEngine con gli RPC forniti dal metadata file e con gli RPC di SISAR, caso della traslazione (a) e della trasformazione affine (b)

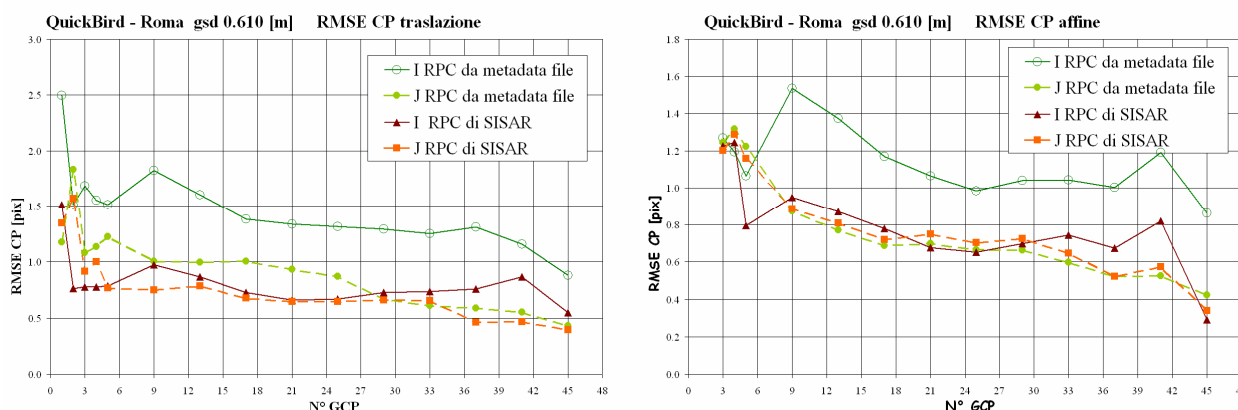


Figura 4 - Confronto delle accuratezze ottenute nel software Erdas con gli RPC forniti dal metadata file e con gli RPC di SISAR, caso della traslazione (a) e della trasformazione affine (b)

Per l'immagine EROS A, il confronto tra i due modelli di OrthoEngine, RPF con RPC di SISAR e Rigoroso, mostra dei risultati migliori con il primo modello in corrispondenza di pochi GCP e dei risultati comparabili tra i due modelli quando l'accuratezza si è assestata (intorno a 13 GCP) (Figura 5).

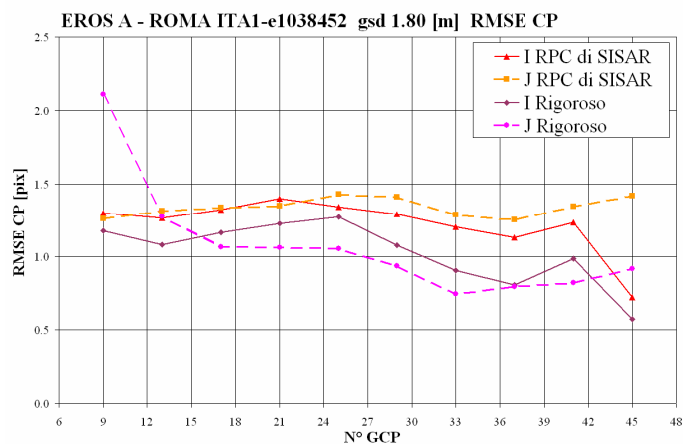


Figura 5 - Confronto delle accuratèzze dell'immagine EROS A ottenute nel software OrthoEngine con RPC generati da SISAR e con il modello Rigoroso

### Conclusioni

Il software SISAR per l'uso degli RPC fornisce buoni risultati per tutte le immagini testate con esiti al massimo uguali a quelli forniti dai software analizzati. In generale le accuratèzze si stabilizzano elaborando le immagini con 12 GCP permettendo quindi di ottenere un orientamento dell'immagine di buona qualità anche con pochi GCP.

I risultati inoltre dimostrano che gli RPC generati da SISAR, facilmente utilizzabili all'interno di software commerciali, permettono un buon processo di orientamento. Particolare attenzione è rivolta alla selezione dei parametri stimabili con l'innovativa metodologia che consente una riduzione del numero di RPC necessari.

È importante sottolineare il fatto che l'algoritmo messo a punto è in grado di generare RPC anche per quei satelliti (EROS A) che non ne sono provvisti.

### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano:

Ing. Emanuele Traversari (Leica Geosystems) per aver messo a disposizione il software Erdas 8.6; Dott. Valerio Caroselli (Informatica per il Territorio S.r.l.), Dott. Fabio Volpe (Eurimage S.p.A.) e Dott. Emanuele Filiberti (Sysdeco Italia) per aver messo a disposizione le immagini EROS A, QuickBird e Ikonos II.

### Bibliografia

- Fraser C.S., Hanley H.B. (2003), "Bias compensation in rational functions for IKONOS satellite imagery". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(1), 53-57
- Golub G. H., Van Loan C. F. (1993) *Matrix Computation*, The Johns Hopkins University Press.
- Tao C.V., Hu Y. (2000), "Investigation of the Rational Function Model", Proceedings of ASPRS Annual Convention, Washington D.C.
- Tao C.V., Hu Y. (2001), "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 67(12), 1347-1357.
- Neumaier A. (1998), "Solving ill-conditioned and singular linear systems: a tutorial on regularization", *SIAM review* 40(3): 636-666