Impiego di immagini telerilevate da satellite per la produzione e l'aggiornamento di cartografia

Angela Errico, Pasquale Maglione, Claudio Parente, Raffaele Santamaria

Dipartimento di Scienze Applicate, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Centro direzionale di Napoli, Isola C4, 80134 Napoli, tel. 081-5476608,
e-mail: angela.errico@uniparthenope.it, pasquale.maglione@uniparthenope.it, claudio.parente@uniparthenope.it, raffaele.santamaria@uniparthenope.it

Riassunto
Il telerilevamento da satellite fornisce sempre più possibilità concrete per la produzione e l'aggiornamento di cartografia. Infatti, da un lato l'evolversi dei sensori ottici che presentano capacità di acquisizione ad elevata risoluzione geometrica (metrica o sub metrica) nel pancromatico, dall'altro la disponibilità di immagini in stereoscopia, con coperture praticamente globali della superficie terrestre, contribuiscono ad accrescere le possibilità di elaborazione dei dati telerilevati per scopi cartografici.
In questo lavoro si richiamano anzitutto gli algoritmi di correzione geometrica e georeferenziazione delle immagini satellitari, considerando le funzioni polinomiali semplici e razionali. Si confrontano poi i risultati di due applicazioni di georeferenziazione: la prima relativa ad una composizione RGB di dati MODIS (bassa risoluzione, 250 m x 250 m), l'altra ad un'immagine pancromatica IKONOS (alta risoluzione, 1 m x 1 m). Il confronto evidenzia i limiti delle funzioni polinomiali semplici, utilizzabili solo in presenza di bassa o media risoluzione geometrica, e la capacità di quelle razionali. Con quest'ultime, infatti, anche in assenza di indicazioni circa i parametri orbitali e quindi la caratterizzazione geometrica all'atto della presa, diviene possibile rendere corretta e georiferita una immagine ad alta risoluzione, con accuratezze che la rendono utilizzabile per produrre o aggiornare cartografia.

Abstract
Remote Sensing by Satellite provides concrete possibilities to produce and update maps. In fact, the evolving of optical sensors with capacity of acquisition at high geometric resolution and the availability of stereoscopic images with global cover of earth surface contribute to increase the possibilities to process remote sensed data for cartographic aim.
In this paper algorithms for geometric correction and georeferencing of satellite images are described, considering the simple and rational polynomial functions. The results in two applications of georeferencing are compared: the first related to RGB composition of MODIS data (low resolution, 250 m x 250 m), the second to panchromatic IKONOS image (high resolution, 1 m x 1 m). The comparison highlights limits of simple polynomial functions, usable only for low resolution, and the capacity of rational ones. In fact they ensure the correction and georeferencing of an image also in absence of indications about orbital parameters or, in other terms, the geometric configuration when taking, with accuracies that render it usable to produce and update maps.

Introduzione

Il satellite Landsat 1, lanciato nel 1972, è stato il primo espressamente dedicato al monitoraggio della Terra allo scopo di mappare risorse culturali e naturali; il sensore Thematic Mapper (TM), presente a bordo del Landsat 4, messo in orbita nel Luglio del 1982 e operativo fino al 1996, fornendo dati multispettrali con risoluzione geometrica 30 m x 30 m, ha reso possibile la

realizzazione di ortoimmagini a colori utilizzabili per fini cartografici. Con il satellite Landsat 7, lanciato nell'Aprile del 1999, è stato introdotto il sensore ETM+ *(Enhanced Thematic Mapper plus)*, in grado di acquisire, oltre che nelle bande multispettrali, anche nel pancromatico con una risoluzione di 15 m x 15 m. Già nel 1986 era stato realizzato un notevole passo in avanti con il satellite SPOT *(Satellite Pour l'Observation de la Terre)*, fornito di un sensore in grado di acquisire in pancromatico con risoluzione 10 m x 10 m; con il satellite SPOT 5, in orbita da Maggio 2002, è stato introdotto un nuovo tipo di sensore, denominato HRG *(High Resolution Geometric)*, in grado di fornire immagini pancromatiche 5 m x 5 m e, attraverso la modalità Supermode, 2,5 m x 2,5 m.
In Italia, l'attenzione da parte dell'IGM all'utilizzo di immagini satellitari per scopi cartografici risale al 1987, quando fu istituito il Servizio di Telerilevamento. Successivamente venne avviata la produzione di spaziocarte ricavate tramite elaborazione di immagini satellitari SPOT: attualmente si utilizzano dati dal sopra menzionato sensore pancromatico HRG (risoluzione geometrica: 5 m x 5 m). Le spaziocarte sono in scala nominale 1:50.000, con taglio cartografico (20'x12') coincidente con quello della tradizionale produzione dell'IGM, ugualmente inquadrate nel sistema UTM-ED50 e, più recentemente, in UTM-WGS84 *(Colella, 2009)*.
Con il nuovo secolo, la risoluzione geometrica delle immagini pancromatiche acquisite da satellite è notevolmente migliorata, come testimoniano le missioni EROS A1 (1,8 m x 1,8 m), IKONOS (1 m x 1 m), Quickbird (61 cm x 61 cm).

Correzione geometrica delle immagini satellitari
Le immagini satellitari risultano distorte a causa di molteplici fattori, quali la rotazione e la curvatura terrestre, le caratteristiche del sensore, l'instabilità della piattaforma. Per eliminare o, più verosimilmente, limitare le distorsioni e rendere l'immagine sovrapponibile alla cartografia, si procede con la georeferenziazione. Possono utilizzarsi allo scopo funzioni polinomiali (non razionali), il cui ordine è solitamente compreso tra 1 e 5, dove le coordinate *X', Y'* finali sono legate alle coordinate iniziali *X, Y* dalle relazioni di seguito riportate.

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y \end{aligned} \qquad [1]$$

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 \end{aligned} \qquad [2]$$

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 + a_6 X^2 Y + a_7 XY^2 + a_8 X^3 + a_9 Y^3 \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 + b_6 X^2 Y + b_7 XY^2 + b_8 X^3 + b_9 Y^3 \end{aligned} \qquad [3]$$

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 + a_6 X^2 Y + a_7 XY^2 + a_8 X^3 + a_9 Y^3 + a_{10} X^2 Y^2 + \\ &+ a_{11} XY^3 + a_{12} X^3 Y + a_{13} X^4 + a_{14} Y^4 \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 + b_6 X^2 Y + b_7 XY^2 + b_8 X^3 + b_9 Y^3 + b_{10} X^2 Y^2 + \\ &+ b_{11} XY^3 + b_{12} X^3 Y + b_{13} X^4 + b_{14} Y^4 \end{aligned} \qquad [4]$$

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 + a_6 X^2 Y + a_7 XY^2 + a_8 X^3 + a_9 Y^3 + a_{10} X^2 Y^2 + \\ &+ a_{11} XY^3 + a_{12} X^3 Y + a_{13} X^4 + a_{14} Y^4 + a_{15} X^3 Y^2 + a_{16} X^2 Y^3 + a_{17} X^4 Y + a_{18} XY^4 + a_{19} X^5 + a_{20} Y^5 \\ Y' &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 + b_6 X^2 Y + b_7 XY^2 + b_8 X^3 + b_9 Y^3 + b_{10} X^2 Y^2 + \\ &+ b_{11} XY^3 + b_{12} X^3 Y + b_{13} X^4 + b_{14} Y^4 + b_{15} X^3 Y^2 + b_{16} X^2 Y^3 + b_{17} X^4 Y + b_{18} XY^4 + b_{19} X^5 + b_{20} Y^5 \end{aligned} \qquad [5]$$

Analiticamente la forma del polinomio può essere genericamente espressa dalla relazione:

$$P_n(X,Y)=\sum_{i=0}^{m_1}\sum_{j=0}^{m_2}a_{ij}X^iY^j \qquad [6]$$

dove, detto n il grado del polinomio, risulta:
$$0 \le m_1 \le n;$$
$$0 \le m_2 \le n;$$
$$m_1 + m_2 \le n.$$

Per determinare, di volta in volta, i valori dei coefficienti a_{ij}, occorre conoscere le coordinate (sia relative all'immagine, sia alla rappresentazione cartografica) di un numero t di punti *(Ground Control Points, GCPs)* pari almeno alla metà dei coefficienti stessi: è preferibile utilizzarne di più, solitamente almeno il doppio (2t). L'affidabilità della trasformazione può essere verificata in alcuni punti di controllo *(Check Points, CPs)*.
Risultati migliori si ottengono mediante l'utilizzo delle Funzioni Polinomiali Razionali *(Rational Polynomial Functions, RPFs)*, costituite dal rapporto di due polinomi che esprimono le relazioni tra le coordinate immagine (X', Y') e le coordinate oggetto (X, Y, Z) in riferimento ad un numero variabile di coefficienti:

$$X' = \frac{P_1(X,Y,Z)}{P_2(X,Y,Z)}; \qquad Y' = \frac{P_3(X,Y,Z)}{P_4(X,Y,Z)} \qquad [7]$$

Analiticamente la forma del polinomio può essere genericamente espressa dalla relazione:

$$P_n(X,Y,Z)=\sum_{i=0}^{m_1}\sum_{j=0}^{m_2}\sum_{k=0}^{m_3}a_{ijk}X^iY^jZ^k \qquad [8]$$

dove, detto n il grado del polinomio, risulta:
$$0 \le m_1 \le n;$$
$$0 \le m_2 \le n;$$
$$0 \le m_3 \le n;$$
$$m_1 + m_2 + m_3 \le n.$$

I coefficienti a_{ijk} sono indicati con il termine *Rational Polynomial Coefficients (RPCs)* e il loro numero varia in funzione del polinomio utilizzato.
Solitamente si utilizzano polinomi di grado 3, per cui, in riferimento alla [7], si ha che il polinomio P_1, ad esempio, è dato da:

$$P_1 = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2 + a_{10}XYZ + a_{11}X^2Y + a_{12}X^2Z + a_{13}Y^2X + a_{14}Y^2Z + a_{15}Z^2X + a_{16}Z^2Y + a_{17}X^3 + a_{18}Y^3 + a_{19}Z^3 \qquad [9]$$

Per determinare i valori dei coefficienti da usare per risolvere le RPF si può procedere secondo una delle seguenti modalità:
• impiegare un certo numero di GCPs e risolvere le funzioni attraverso una compensazione ai minimi quadrati;
• utilizzare gli RPCs calcolati dalle agenzie stesse che distribuiscono le immagini, in funzione della posizione e dell'orientamento del sensore.

Nel 1° caso, per determinare i valori degli RPCs, considerando che essi sono 78 (il termine noto presente al denominatore viene posto uguale ad 1), è necessario conoscere le coordinate doppie di almeno 39 punti. Anche in questo caso l'affidabilità della trasformazione può essere verificata in alcuni punti di controllo (CPs).

Georeferenziazione di una immagine MODIS

Il sensore MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) è uno spettroradiometro a bordo dei satelliti eliosincroni Terra e Aqua: il primo è stato mandato in orbita il 18 dicembre del 1999, il secondo il 4 maggio del 2002. Entrambi posti ad una altezza di 705 km dalla superficie terrestre, compiono un'orbita completa attorno alla terra in 98 minuti, con un tempo di rivisitazione pari a 16 giorni. Le orbite dei satelliti sono state fissate in modo tale che Terra interseca l'equatore alle 10.30 ora locale, passando dall'emisfero settentrionale all'emisfero meridionale, mentre Aqua al contrario passa dall'emisfero australe a quello boreale tre ore dopo. La larghezza della fascia di superficie terrestre osservata dal satellite *(swath)*, è pari 2.330 km. Le bande spettrali di acquisizione sono 36 (comprese tra 0,4 μm e 14,4 μm), con una risoluzione radiometrica di 12 bit/canale. La risoluzione spaziale va da 250 m a 1.000 m, a seconda della banda di acquisizione.
L'immagine MODIS considerata *(Figura 1)* è una composizione RGB con risoluzione 250 m x 250 m ed è relativa alla Sardegna e alla parte più meridionale della Corsica. Le coordinate finali dei punti doppi, riferite al sistema UTM-WGS84 (fuso 32), sono state ricavate da cartografia vector relativa alle coste dei mari e dei laghi in scala 1:50.000. La georeferenziazione è stata eseguita con l'impiego di funzioni polinomiali semplici (dal 1° al 5° grado), utilizzando 90 *Ground Control Points* e 30 *Check Points*.
I valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y e xy) relativi ai GCPs e ai CPs sono riportati nelle tabelle in *Figura 2* e *Figura 3*.

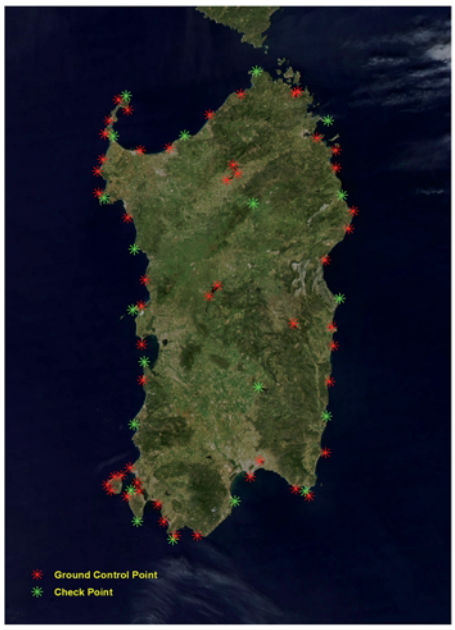

Figura 1 – L'immagine MODIS con indicazione dei punti scelti come Ground Control Points (GCPs) e Check Points (CPs)

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
Funzione Polinomiale 1° ordine	Δx	**0,00**	**-186,16**	**218,10**	**104,26**
	Δy	**0,00**	**-217,15**	**378,53**	**120,63**
	Δxy	**148,97**	**23,56**	**380,81**	**56,83**
Funzione Polinomiale 2° ordine	Δx	**0,00**	**-177,17**	**202,82**	**100,54**
	Δy	**0,00**	**-261,36**	**371,96**	**118,03**
	Δxy	**142,13**	**29,05**	**380,01**	**61,96**
Funzione Polinomiale 3° ordine	Δx	**0,00**	**-162,03**	**342,29**	**62,57**
	Δy	**0,00**	**-261,24**	**341,14**	**114,11**
	Δxy	**133,53**	**27,24**	**342,29**	**62,57**
Funzione Polinomiale 4° ordine	Δx	**0,00**	**-172,48**	**182,26**	**90,77**
	Δy	**0,00**	**-224,17**	**214,81**	**103,89**
	Δxy	**126,50**	**15,39**	**241,20**	**55,06**
Funzione Polinomiale 5° ordine	Δx	**0,00**	**-144,41**	**164,61**	**83,23**
	Δy	**0,00**	**-227,34**	**175,58**	**95,60**
	Δxy	**115,54**	**23,44**	**227,34**	**52,12**

Figura 2 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai 90 punti del modello (GCPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine MODIS

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
Funzione Polinomiale 1° ordine	Δx	**58,77**	**-138,49**	**192,36**	**95,28**
	Δy	**15,55**	**-199,60**	**196,52**	**121,93**
	Δxy	**156,50**	**34,72**	**238,03**	**56,12**
Funzione Polinomiale 2° ordine	Δx	**56,10**	**-159,95**	**220,02**	**103,84**
	Δy	**11,28**	**-201,66**	**162,19**	**111,22**
	Δxy	**158,97**	**40,64**	**257,82**	**52,51**
Funzione Polinomiale 3° ordine	Δx	**58,82**	**-171,30**	**231,65**	**102,19**
	Δy	**11,28**	**-201,66**	**162,19**	**111,22**
	Δxy	**144,38**	**4,97**	**292,38**	**74,51**
Funzione Polinomiale 4° ordine	Δx	**57,70**	**-143,37**	**227,32**	**104,56**
	Δy	**6,99**	**-212,16**	**149,89**	**103,44**
	Δxy	**137,01**	**7,57**	**267,85**	**79,00**
Funzione Polinomiale 5° ordine	Δx	**47,69**	**-182,31**	**235,17**	**107,19**
	Δy	**-6,45**	**-210,31**	**209,06**	**104,84**
	Δxy	**143,19**	**43,97**	**256,13**	**65,52**

Figura 3 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai 30 punti di controllo (CPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine MODIS

Georeferenziazione di una immagine IKONOS

Lanciato nel Settembre del 1999, IKONOS è stato il primo satellite ottico commerciale ad alta risoluzione. Posto su di un'orbita quasi polare ed eliosincrona a 680 km di altezza, è dotato di 2 sensori: uno pancromatico (PAN) con una risoluzione geometrica al suolo pari a 1 m x 1 m, una elevata larghezza di banda (fino al vicino infrarosso, da 0,45 μm a 0,90 μm) ed una profondità di colore di 11 bit (2.048 toni); l'altro multispettrale (MS) con una risoluzione geometrica al suolo pari a 4 m x 4 m, operatività su 4 bande (blu: 0,45 μm - 0,52 μm; verde: 0,52 μm - 0,60 μm; rosso: 0,63 μm - 0,69 μm; infrarosso vicino: 0,76 μm - 0,90 μm) e una profondità di colore di 11 bit. La disponibilità di una copertura globale ad elevata risoluzione sia spaziale che temporale (il passaggio sulla stessa scena avviene dopo circa 3 giorni, ma la possibilità di inclinare il sensore permette di dimezzare l'intervallo di tempo tra due acquisizioni della stessa area) rende particolarmente interessante l'impiego di prodotti IKONOS, anche per fini cartografici.

L'immagine IKONOS considerata *(Figura 4)* è di tipo pancromatico (1 m x 1 m) ed è relativa ad un'ampia zona della Sicilia orientale, ricadente nelle Province di Messina e Catania. Le coordinate finali dei punti doppi, riferite al sistema UTM-WGS84 (fuso 33), sono state ricavate da ortofoto in scala 1:10.000. La georeferenziazione è stata eseguita dapprima con l'impiego di funzioni polinomiali semplici (dal 1° al 5° grado), utilizzando 90 Ground Control Points e 30 Check Points.

Successivamente si è proceduto con le funzioni polinomiali razionali a 20 coefficienti, lasciando invariato il numero dei CPs e utilizzando 45, 60 e 90 GCPs.

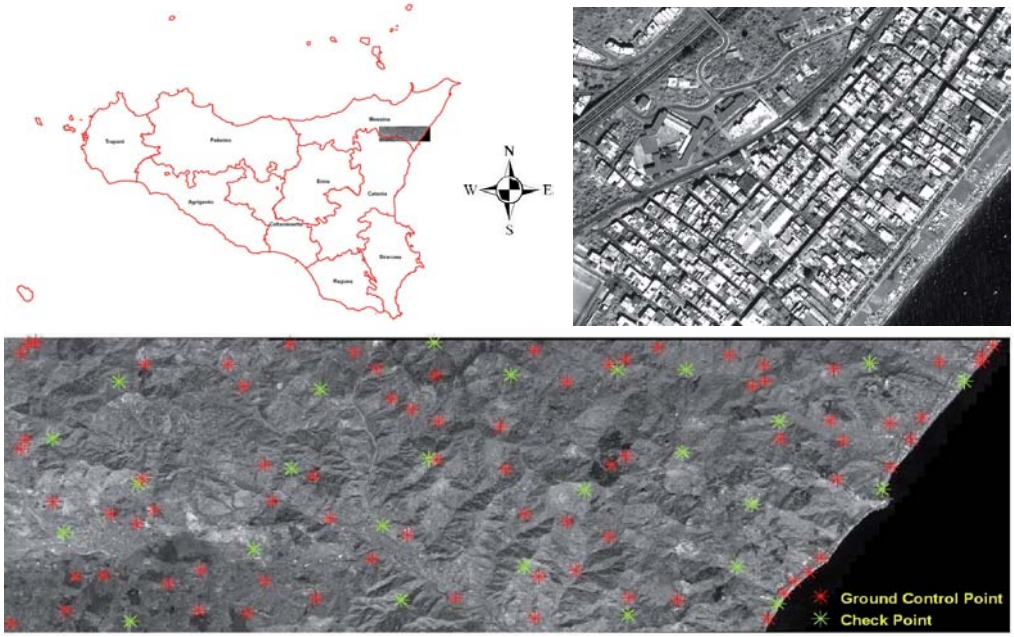

Figura 4 – Immagine IKONOS: inquadramento territoriale, ingrandimento, localizzazione dei GCPs e dei CPs

I valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y e xy) relativi ai GCPs e ai CPs sono riportati nelle tabelle in *Figura 5* e *Figura 6* per le funzioni polinomiali e nelle tabelle in *Figura 7* e *Figura 8* per le funzioni polinomiali razionali.

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
Funzione Polinomiale 1° ordine	Δx	**0,00**	**-57,19**	**36,76**	**23,73**
	Δy	**0,00**	**-64,10**	**43,89**	**24,92**
	Δxy	**30,09**	**4,77**	**68,54**	**19,62**
Funzione Polinomiale 2° ordine	Δx	**0,00**	**-50,10**	**43,93**	**21,99**
	Δy	**0,00**	**-57,52**	**48,18**	**23,60**
	Δxy	**29,11**	**2,95**	**77,87**	**19,47**
Funzione Polinomiale 3° ordine	Δx	**0,00**	**-45,30**	**41,47**	**20,29**
	Δy	**0,00**	**-51,94**	**42,68**	**21,78**
	Δxy	**26,39**	**0,31**	**66,94**	**17,43**
Funzione Polinomiale 4° ordine	Δx	**0,00**	**-45,65**	**40,41**	**17,71**
	Δy	**0,00**	**-51,45**	**46,48**	**19,32**
	Δxy	**22,94**	**3,21**	**63,95**	**15,86**
Funzione Polinomiale 5° ordine	Δx	**0,00**	**-48,99**	**34,40**	**15,20**
	Δy	**0,00**	**-47,67**	**38,86**	**16,41**
	Δxy	**22,33**	**1,37**	**80,37**	**17,58**

Figura 5 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai 90 punti del modello (GCPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine IKONOS

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
Funzione Polinomiale 1° ordine	Δx	**-6,43**	**-46,56**	**35,68**	**23,93**
	Δy	**-5,66**	**-50,30**	**40,07**	**25,38**
	Δxy	**28,66**	**3,20**	**85,77**	**19,05**
Funzione Polinomiale 2° ordine	Δx	**-5,43**	**-52,85**	**42,32**	**23,37**
	Δy	**-4,79**	**-57,18**	**46,30**	**25,06**
	Δxy	**25,98**	**0,04**	**76,28**	**19,12**
Funzione Polinomiale 3° ordine	Δx	**-4,33**	**-46,46**	**36,06**	**21,30**
	Δy	**-3,55**	**-48,20**	**40,32**	**22,70**
	Δxy	**24,39**	**0,59**	**68,92**	**17,06**
Funzione Polinomiale 4° ordine	Δx	**-3,28**	**-45,26**	**43,09**	**19,15**
	Δy	**-2,50**	**-41,73**	**47,25**	**19,85**
	Δxy	**20,14**	**0,26**	**68,78**	**16,77**
Funzione Polinomiale 5° ordine	Δx	**-3,57**	**-57,84**	**36,58**	**19,48**
	Δy	**-2,95**	**-55,80**	**37,88**	**20,18**
	Δxy	**16,63**	**0,16**	**68,36**	**14,96**

Figura 6 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai 30 punti di controllo (CPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine IKONOS

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
90 GCPs	Δx	**0,00**	**-1,00**	**1,29**	**0,45**
	Δy	**0,00**	**-1,31**	**1,57**	**0,55**
	Δxy	**1,51**	**0,27**	**3,80**	**0,86**
60 GCPs	Δx	**0,00**	**-1,24**	**1,69**	**0,68**
	Δy	**0,00**	**-2,11**	**1,89**	**0,73**
	Δxy	**0,87**	**0,16**	**2,13**	**0,48**
45 GCPs	Δx	**0,00**	**-1,00**	**1,29**	**0,45**
	Δy	**0,00**	**-1,31**	**1,57**	**0,55**
	Δxy	**0,61**	**0,14**	**1,84**	**0,37**

Figura 7 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai punti dei 3 diversi modelli (GCPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine IKONOS con funzioni polinomiali razionali a 20 coefficienti

		Val. medio (m)	Val. min (m)	Val max (m)	σ (m)
90 GCPs	Δx	**0,18**	**-4,50**	**8,00**	**2,50**
	Δy	**0,65**	**-3,15**	**4,97**	**2,11**
	Δxy	**2,55**	**0,61**	**3,92**	**0,93**
60 GCPs	Δx	**-0,11**	**-3,43**	**4,74**	**1,94**
	Δy	**0,71**	**-3,60**	**5,35**	**2,24**
	Δxy	**2,66**	**0,08**	**5,95**	**1,50**
45 GCPs	Δx	**0,18**	**-4,50**	**8,00**	**2,50**
	Δy	**0,65**	**-3,15**	**4,97**	**2,11**
	Δxy	**2,85**	**0,46**	**8,20**	**1,74**

Figura 8 – Valori significativi (medio, minimo, massimo, deviazione standard) riscontrati per i residui (in x, y, xy) relativi ai 30 punti di controllo (CPs) utilizzati nel processo di georeferenziazione dell'immagine IKONOS con funzioni polinomiali razionali a 20 coefficienti

Analisi dei risultati e conclusioni

L'impiego dell'immagine IKONOS ha permesso di ottenere, come risultato migliore, un residuo medio pari a 1,51 m e deviazione standard di 0,86 m, relativamente ad un numero di 90 Ground Control Points, nella direzione xy, con l'utilizzo di funzioni polinomiali razionali a 20 coefficienti; su 30 Check Points risulta un valore medio e una deviazione standard, sempre nella direzione xy, rispettivamente di 2,55 m e 0,93 m per il massimo numero di punti di controllo, e comunque sempre inferiore ai 3 m per 60 e 45 GCPs. In altri termini, i risultati dell'applicazione eseguita con l'immagine IKONOS, relativa, tra l'altro, ad un'area vasta e particolarmente accidentata, hanno

evidenziato come, con l'impiego di funzioni polinomiali razionali e di GCPs e CPs ricavati da ortofoto in scala 1:10.000, si possano realizzare ortoimmagini utilizzabili per la produzione e l'aggiornamento di cartografia a media scala. Risultati analoghi sono stati ottenuti in altre applicazioni *(Pennacchio, 2004; Oliviero et al., 2008)*, con un miglioramento dell'accuratezza nel caso in cui le coordinate dei punti di georeferenziazione siano acquisite tramite GPS *(Capra et al, 2003)*.
Contestualmente è stata riscontrata l'improponibilità, per immagini ad alta risoluzione, di una georeferenziazione eseguita mediante funzioni polinomiali semplici. Queste ultime, infatti, risultano utili solo per le immagini a bassa risoluzione, come le MODIS: per quella considerata, la correzione geometrica mediante polinomiale del 5° ordine ha fornito un valore medio dei residui in xy di 115,54 m, con deviazione standard di 52,12, per i Ground Control Points e un valore medio di 143,19 m, con deviazione standard di 65,52 m, per i Check Points. In definitiva sono stati ottenuti risultati di accuratezza compatibili con la risoluzione geometrica dell'immagine, ovvero utili per cartografia a piccola scala: l'impiego di immagini MODIS così georiferite può trovare spazio per la realizzazione di carte tematiche (non già topografiche) che mettano in luce la variabilità di una grandezza o di un fenomeno sul territorio e/o problematiche di interesse ambientale.
Va infine sottolineato che l'utilizzo di immagini telerilevate ad alta risoluzione, come le IKONOS, consente di poter usufruire di banche dati costantemente aggiornate e di facile reperibilità a prezzi competitivi rispetto alle tradizionali acquisizioni di foto aeree.

Bibliografia

Baltsavias E.P. (2000), *Geometric transformations and registration of images, orthoimage generation and mosaicing*, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETHZ Zurich
Capra A., Costantino D., Todaro S. (2003), "La georeferenziazione delle immagini cartografiche e telerilevate", *Atti della 7° Conferenza Nazionale ASITA,* Verona
Cima V., Maseroli R., Surace L. (2003), "Il processo di georeferenziazione dal telerilevamento ai GIS", *Atti della 7° Conferenza Nazionale ASITA*, vol. 1, pp. XLIX-LXVIII
Colella C. (2009), "Telerilevamento e spazio carte dell'I.G.M.",
http://www.igmi.org/pubblicazioni/atlante_tipi_geografici/pdf/telerile.pdf
Crespi M., Baiocchi V., De Vendicts L., Lorezon F. (2003), "Impiego cartografico di immagini satellitari ad alta risoluzione – le problematiche metriche: dati primari, metodologie, sperimentazioni", *Atti del Convegno Regione Calabria/ASITA,* Lamezia Terme
GSFC/NASA. *MODIS technical specifications*, http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html
GSFC/NASA. *TERRA*. http://terra.nasa.gov/
GSFC/NASA. *AQUA*. http://aqua.nasa.gov/
Oliviero C., Parente C., Santamaria R. (2008), "Ortho-rectification of Ikonos panchromatic images using detailed maps", *Proceedings of IEEE Gold Remote Sensing Conference*, 22-23 May 2008, ESA-ESRIN Frascati, Rome, ESA – IEEE (on CD-ROM)
Pennacchio D. (2004), *Aggiornamento di cartografia da immagini satellitari ad alta risoluzione*, Tesi di dottorato, Dottorato di ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche, Università degli Studi di Napoli "Parthenope" (Tutor: Prof. R. Santamaria)
Radicioni F., Grassi S., Mancini F. (2002) – "Utilizzazione di immagini satellitari ad alta risoluzione ai fini cartografici" - *Atti VI Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia
Tao C. V., Hu Y. (2000), "Image rectification using a generic sensor model – Rational Function Model", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, pp. 874-881
Toutin T., Chenier R., Carbonneau Y. (2001), "3D geometric modelling of Ikonos Geo images", *Proceedings of Joint ISPRS Workshop High Resolution Mapping from Space 2001*, Hannover, 19-21 September 2001, Institute of Photogrammetry & Geoinformation, University of Hannover, 9 (on CD ROM)