

ORTORETTIFICA DI UN'IMMAGINE IKONOS DELLA CITTÀ DI MILANO E SUA VALIDAZIONE

Daniela Carrion, Maria Elena Gaetani, Vincenza Tornatore

DIIAR – Sezione Rilevamento – Politecnico di Milano, Piazza L. Da Vinci, 32 – 20133 Milano
Tel. 02 23996502 – fax 02 23996530

Riassunto

In questo lavoro si è proceduto all'ortorettifica di un'immagine della città di Milano rilevata con il satellite Ikonos, la cui dimensione del pixel a terra è di circa un metro. Sono stati utilizzati GCP (*Ground Control Point*) e CP (*Check Point*) rilevati in modalità GPS-RTK, facendo uso del dispositivo RIR (*RTCM Internet Receiver*) per la ricezione delle correzioni differenziali via Internet. L'immagine è stata ortorettificata utilizzando sia il modello fisico del satellite, basato sulle ricerche di Toutin e del *Canadian Research Center*, che i modelli neri basati sulle equazioni polinomiali razionali.

Sono state considerate diverse configurazioni di GCP per valutare la numerosità minima di punti necessaria per ottenere la precisione accettabile rispetto alla risoluzione dell'immagine. I risultati sono stati verificati su un set di CP comune a tutte le configurazioni.

Infine è stata verificata l'accuratezza dell'ortorettifica su punti posizionati sulla sommità di edifici alti, nel caso in cui nella fase di elaborazione sia stato utilizzato un DTM, oppure un DSM contenente un modello dell'altezza degli edifici.

Abstract

This paper deals with the orthorectification of a Milano high resolution image, with a geometric resolution of 1 m, taken by the Ikonos satellite. The GCP and CP considered have been surveyed with a GPS-RTK technique, using the RIR device (RTCM Internet Receiver), to obtain the differential corrections via Internet. The image has been orthorectified using both the satellite physical model, based on the Toutin and Canadian Research Center researches, and the black models, based on the rational polynomial equations.

Different GCP configurations have been considered in order to evaluate the minimum density necessary to obtain an accuracy adequate to the orthoimage scale.

Finally, the accuracy of the orthorectification has been verified for points on roofs of high buildings, in the cases whether a DTM or a DSM containing the buildings height model has been used during the processing.

L'immagine Ikonos di Milano e i punti rilevati per l'ortorettifica

In questo lavoro sono state utilizzate, unite fra loro, due scene adiacenti acquisite dal satellite Ikonos il 19 maggio 2000 sulla città di Milano. Le scene si presentano in modalità pancromatica e sono rappresentate in coordinate UTM, pertanto hanno subito una prima correzione geometrica. Ciascuna scena ha un'estensione di circa 164 km². La zona è stata ripresa con un angolo di off-nadir di 19.8°, quindi la risoluzione geometrica risulta pari a circa 1 m. L'area rilevata comprende la porzione ovest del territorio della città di Milano, suddivisa in una zona nord, ripresa dalla prima scena, e in una zona sud ripresa dalla seconda scena. Le due scene sono state unite in una sola immagine, per essere elaborate contestualmente con il modulo OrthoEngine del *software* commerciale Geomatica (v. 10, PCI Geomatics).

I punti di appoggio necessari per l'ortorettifica (GCP e CP) sono stati individuati sull'immagine con una densità pari a circa un punto ogni 2 km², per un totale di 40 punti omogeneamente distribuiti. L'area considerata riguarda solo una porzione dell'immagine limitata al territorio del Comune di Milano pari a circa 72 km². Le coordinate dei punti sono state determinate mediante un rilievo GPS effettuato in modalità RTK appoggiandosi a una stazione singola, la stazione permanente della Provincia di Milano, che ha trasmesso le correzioni differenziali di fase. Per la ricezione di tali correzioni differenziali è stato utilizzato il RIR (RTCM *Internet Receiver*) (Barzaghi et al., 2004), un dispositivo che mediante una scheda GSM o GPRS è in grado di connettersi a un *server* centrale attraverso Internet. Con questa modalità sono state determinate le coordinate di 33 punti con esito *fixed* (ambiguità fissate a valore intero), 4 *float* (ambiguità determinata come valore reale) e 3 *standalone* (coordinate determinate mediante posizionamento assoluto sulle osservazioni di codice). Questo tipo di rilievo ha consentito la determinazione delle coordinate in tempi brevi e con un buon livello di precisione; in Tabella 1 sono riportate le precisioni medie sui 14 punti *fixed* insieme per le due componenti planimetriche (lo strumento non separa latitudine e longitudine) e per la componente altimetrica.

$\bar{\sigma}_{\text{plan}}$ [cm]	$\bar{\sigma}_h$ [cm]
1.9	2.7

Tabella 1: *Sqm medio della stima delle coordinate con esito fixed mediante rilievo RTK*

Per i punti con esito *float* e *standalone* è stata prolungata la sessione di misura (circa 15 minuti) in modo da disporre dei dati necessari all'elaborazione in postelaborazione. L'esito di tale elaborazione effettuata in modalità statica relativa rispetto alla stazione permanente della provincia di Milano è stato *fixed* per tutti e 7 i punti ed è stata effettuata utilizzando il programma *Trimble Total Control*. Le precisioni medie per i 7 punti sono riportate in Tabella 2.

$\bar{\sigma}_{\text{lat}}$ [cm]	$\bar{\sigma}_{\text{long}}$ [cm]	$\bar{\sigma}_h$ [cm]
1.1	0.7	1.0

Tabella 2: *Sqm medio della stima delle coordinate con esito fixed ottenute in modalità statica*

La strumentazione utilizzata per la raccolta dei dati è costituita da un ricevitore TOPCON Legacy-E con controller, e un'antenna TOPCON PG A-1.

Ortorettifica dell'immagine

L'immagine ottenuta dall'unione delle due scene acquisite è stata ortorettificata utilizzando il *software* commerciale Geomatica v.10. Tale *software* permette di utilizzare sia i modelli neri polinomiali, tra i quali per questo lavoro sono state utilizzate le RFM (*Rational Function Model*), sia il modello fisico basato sulla geometria di presa del sensore e sulle equazioni di collinearità, in particolare è implementato il modello sviluppato da Toutin (Toutin, 2004). Riguardo agli aspetti teorici legati ai diversi metodi di ortorettifica si può fare riferimento anche a Baiocchi et al., 2004 e Baiocchi et al., 2006.

Per l'ortorettifica con il modello fisico è necessario l'utilizzo di un modello digitale del terreno. In questo lavoro è stato considerato un DTM con passo regolare di 10 m (Betti et al., 2006) ricavato dalla Carta Tecnica Comunale in scala 1:1000 (Bezoari et al., 2005) e, al di fuori dei confini comunali, dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000.

L'ortorettifica è stata realizzata sia con le RFM che con il modello di Toutin con diverse numerosità di GCP in modo da verificare le accuratezze ottenibili con le diverse configurazioni e con i diversi modelli. In particolare sono state considerate quattro configurazioni, 10, 15, 20 e 30 GCP sulle due

scene unite. Per la verifica dell'accuratezza sono stati considerati 10 CP comuni a tutte le configurazioni e ovviamente diversi dai GCP usati per la stima della trasformazione dell'ortorettifica. Come detto precedentemente è stata ortorettificata solo la porzione di immagine all'interno dei confini comunali. Nella Figura 3 sono rappresentate le diverse configurazioni di GCP e CP.

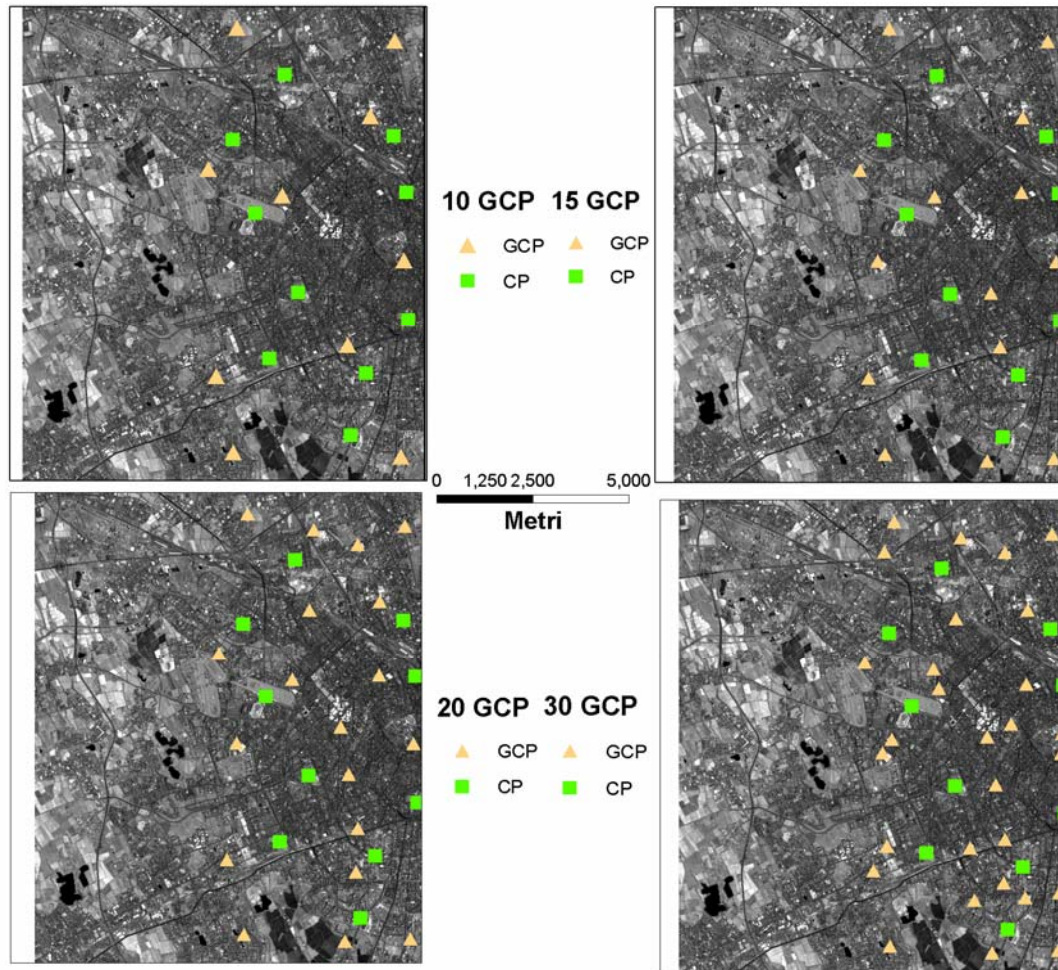


Figura 3 – Rappresentazione delle diverse configurazioni di GCP e CP

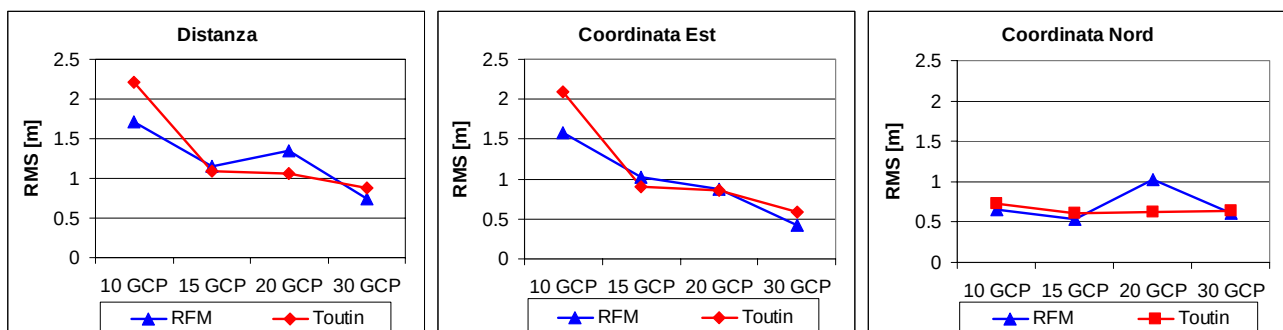


Figura 4 – RMS per Coordinate Est, Nord e distanza con le diverse configurazioni e i diversi modelli di ortorettifica.

Per valutare l'accuratezza dell'ortorettifica per ogni configurazione e per i diversi modelli è stato calcolato l'RMS, i cui valori sono riportati nella Figura 4, in termini di distanza, coordinata Est e Coordinata Nord.

Si può notare come i valori di RMS scendano sotto la dimensione del pixel solo con la configurazione con il maggior numero di GCP. Per le configurazioni di 15 e 20 GCP il valore è comunque inferiore a 1.5 m, mentre è attorno ai 2 m nel caso di 10 GCP. Quest'ultima configurazione presenta un'accuratezza a nostro avviso non accettabile in relazione alla risoluzione dell'immagine, quindi si deduce che il numero di GCP utilizzato è troppo basso.

Alla luce di queste considerazioni possiamo affermare che, per questo caso, con le scene unite, per ottenere una accuratezza inferiore alla dimensione del pixel, è necessaria una densità di GCP di almeno 1 punto ogni 2 km².

	10 GCP VAR [m ²]		15 GCP VAR [m ²]		20 GCP VAR [m ²]		30 GCP VAR [m ²]	
	RFM	Toutin	RFM	Toutin	RFM	Toutin	RFM	Toutin
Coord. Est	1.90	4.46	0.75	0.75	0.54	0.65	0.16	0.37
Coord. Nord	0.41	0.51	0.32	0.39	1.09	0.41	0.35	0.42

	10 GCP Media [m]		15 GCP Media [m]		20 GCP Media [m]		30 GCP Media [m]	
	RFM	Toutin	RFM	Toutin	RFM	Toutin	RFM	Toutin
Coord. Est	0.89	0.61	0.61	0.39	0.52	0.37	0.20	0.11
Coord. Nord	-0.26	-0.25	-0.06	-0.13	-0.28	-0.17	-0.24	-0.20

Tabella 5 – Media e Varianza dei residui sui CP

Per quanto riguarda il comportamento dei due modelli di ortorettifica considerati, osservando i valori di RMS riportati nei grafici di Figura 4, si vede come in due casi, in particolare per la minima e la massima numerosità di GCP, il modello RFM fornisca risultati leggermente migliori rispetto al modello fisico. Per verificare di quanto differisse effettivamente il comportamento dei due modelli sono stati effettuati dei test statistici (Fischer, 1973) sui campioni costituiti dai residui sulle Coordinate Est e Nord dei CP. In particolare è stato effettuato un test di significatività basato sulla distribuzione *F* di Fisher ($\alpha=5\%$), per verificare l'uguaglianza delle varianze; nel caso in cui l'ipotesi del test di uguaglianza è stata accettata è stato poi condotto un test basato sulla distribuzione *t* di Student ($\alpha=5\%$) per verificare l'uguaglianza delle medie. E' risultato che le medie e le varianze dei campioni (riportate in Tabella 5) non differiscono in modo significativo per nessuna configurazione. Si può quindi dedurre nel caso affrontato in questo lavoro, probabilmente a causa delle condizioni favorevoli legate al terreno particolarmente pianeggiante, che le RFM e il modello fisico forniscono risultati equivalenti.

Verifica dell'accuratezza dell'ortorettifica su edifici alti

Per l'utilizzo pratico delle immagini ad alta risoluzione in ambito urbano, date l'elevata risoluzione geometrica delle immagini ad alta risoluzione e la rara disponibilità di immagini riprese nadiralmente, può diventare interessante un approccio da ortofoto di precisione.

In questo lavoro è stata valutata l'accuratezza del posizionamento dei punti sulla sommità di edifici alti nel caso in cui l'immagine sia ortorettificata tradizionalmente, con un DTM, oppure con un DSM, che contenga anche il modello dell'altezza degli edifici.

A partire dalla Carta Tecnica Comunale di Milano è stato estratto un DSM (Baiocchi et al. 2006) con passo regolare di 1 m in corrispondenza della porzione di immagine indicata in Figura 4.

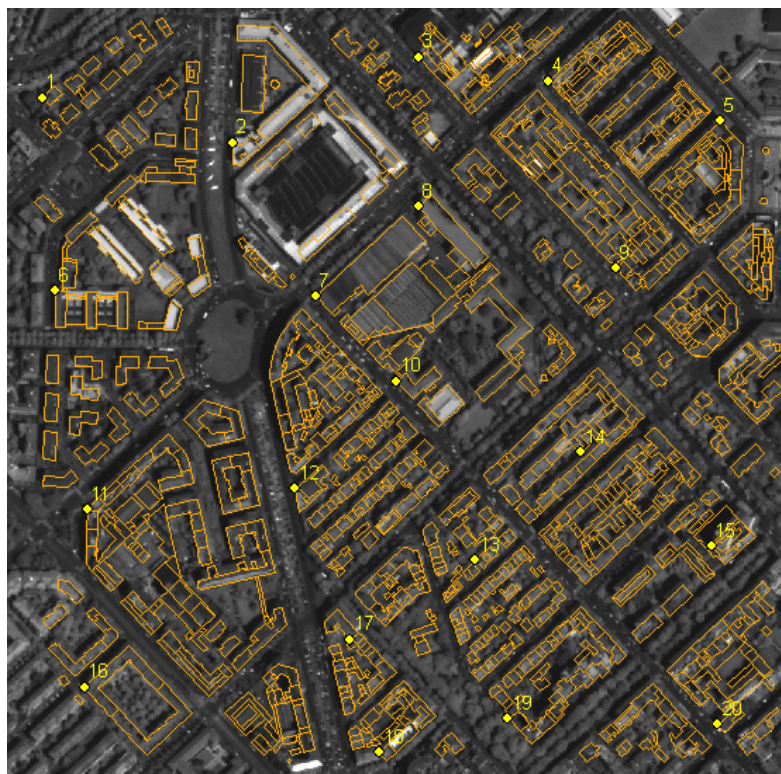


Figura 4 – Disposizione dei punti posizionati su edifici alti

Nella Figura 4 sono anche riportati i 20 punti, localizzati sui tetti, dei quali è stato valutato lo spostamento sull'immagine ortorettificata, rispetto alla posizione corretta rilevata dalla Carta Tecnica Comunale.

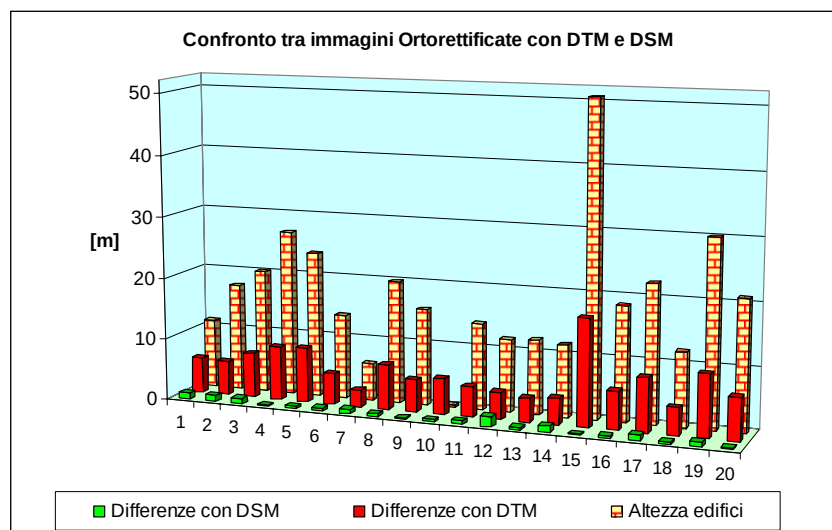


Figura 5 – Differenze riscontrate tra la posizione di punti di edifici alti fra la Carta Tecnica e le immagini Ortorettificate con il DTM e con il DSM.

In Figura 5 è possibile vedere a confronto le differenze di posizionamento nel caso di ortorettifica realizzata con DTM o con DSM, in abbinamento con l'altezza degli edifici sui quali si trovano i punti. Già per edifici dell'altezza di circa 10 m con l'utilizzo del DTM, considerando un angolo di off-nadir di circa 20°, l'errore in planimetria è di alcuni metri. Con l'utilizzo del DSM invece, anche per edifici di più di 50 m l'errore diventa inferiore al pixel. L'utilizzo del DSM diventa quindi importante se si vuole ottenere, per i punti sulla sommità di edifici alti, una accuratezza confrontabile con gli altri punti dell'immagine.

Conclusioni

La disponibilità di immagini satellitari ad alta risoluzione fornite da diverse piattaforme è in continuo aumento; per il loro utilizzo in campo ambientale e urbanistico diventa sempre più importante verificare la precisione metrica delle immagini ortorettificate. In questo lavoro è stata ortorettificata un'immagine, ottenuta dall'unione di due scene di Ikonos adiacenti riprese sulla città di Milano, con diverse configurazioni di GCP e con diversi modelli. Per ottenere un'immagine ortorettificata con un'accuratezza inferiore o confrontabile con la dimensione del pixel (1 m), è risultata necessaria una densità di GCP di circa 1 punto ogni 2 km². Questo corrisponde, nel caso in esame, ad una numerosità di circa 20-30 GCP per un'area di circa 72 km². Sono stati utilizzati sia i modelli neri di ortorettifica, in particolare le RFM, sia il modello fisico di Toutin ed è stato verificato che, almeno in questo caso, le RFM, con un adeguato numero di coefficienti, danno risultati equivalenti al modello fisico. Ciò avviene anche nel caso di un numero ridotto di GCP, probabilmente a causa delle condizioni particolarmente favorevoli legate alla natura pianeggiante del terreno.

Si è verificato inoltre che la tecnica GPS-RTK permette di rilevare i GCP e i CP necessari per l'ortorettifica in modo speditivo, quindi questa tecnica di rilievo potrebbe risultare utile per ortorettificare un'immagine in condizioni di emergenza e di indisponibilità di cartografia aggiornata esistente, come nel caso di eventi catastrofici.

Infine, per quanto riguarda l'ortorettifica di immagini ad alta risoluzione riprese in ambito altamente urbanizzato, è risultato importante l'utilizzo di un DSM, che contenga la descrizione altimetrica degli edifici, per poter avere una accuratezza dei punti posizionati sui tetti confrontabile con quella dei punti a terra.

Bibliografia

Baiocchi V., Betti B., Carrion D., Giannone F., Tornatore V. (2006), "Orthorectification of a satellite EROSA1 Milan image by GPS RTK Control and Check Points: different models comparison", *sottomesso al Bollettino della SIFET*.

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2004) "Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici", *Atti della 8° conferenza ASITA*

Barzaghi R., Betti B., Biagi L., Casella V., Crespi M., Franzini M., Manzino A. M., Mazzoni A., Piras M., Roggero M., Scuratti M., Tornatore V. (2004) "Rilievi GPS-RTK e stazioni permanenti GPS: sperimentazione del sistema RIR", *Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, Roma (2004)*, pp. 311-316, Vol I

Betti B., Carrion D., Gaetani M. E., Tornatore V. (2006), "3D City Model e ortorettifica di immagini satellitari ad alta risoluzione: il caso di Milano", *Atti del Convegno Nazionale SIFET*, Taranto, 13-16 Giugno 2006, su CD.

Bezoari G., Monti C., Selvini A. (2005), "La cartografia numerica della città di Milano: interventi per il collaudo", *Rivista dell'agenzia del Territorio*, 2/2005, pp. 58-76 ISSN 1593-2192

Fischer F. E. (1973), *Fundamental Statistical Concepts*, Harper & Row, Publishers, New York, USA

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

Ringraziamenti

La ricerca descritta in questo articolo è stata condotta nell'ambito del progetto PRIN 2003 dal titolo "Nuovi metodi per l'analisi di deformazioni, tecniche innovative per la georeferenziazione di immagini ad alta risoluzione e uso di immagini satellitari multisensore e multirisoluzione per il controllo di danni causati da alluvioni".

Si desidera ringraziare il Comune di Milano e la Provincia di Milano (Sistema Informativo dei dati Ambientali) per averci fornito i dati relativi alla Carta Tecnica Comunale 1:1000; Geotop e D.G. Service per aver messo a disposizione alcuni strumenti utilizzati in questo lavoro e la *Trimble Navigation LTD* per il software di trattamento dati GPS.