

APPENDICE 4.3

IL RILIEVO GPS RTK PER L'APPOGGIO E IL CONTROLLO DELL'ORTORETTIFICA DI IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE

Vincenza Tornatore

DIIAR - Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento, Politecnico di Milano,
Piazza L. Da Vinci, 32, 20133 Milano

SOMMARIO

Due immagini satellitari della città di Milano, una ripresa dal satellite IKONOS nel Maggio 2000 e una dal satellite EROS A1 nell'Aprile 2002, sono state ortorettificate utilizzando GCP (Ground Control Point) e CP (Check Point) rilevati in modalità GPS-RTK. Si è scelto di utilizzare la modalità RTK (Real Time Kinematic) in quanto più economica e veloce rispetto a quella in post-elaborazione. Il rilievo RTK dei punti di appoggio e controllo è stato effettuato ricevendo il messaggio RTCM da una singola stazione permanente, il collegamento è avvenuto attraverso Internet mediante un dispositivo dedicato denominato RIR (RTCM Internet Receiver).

L'ortorettifica è stata realizzata e verificata utilizzando algoritmi diversi basati sia su modelli fisici che descrivono l'esatta geometria di acquisizione dei sensori, sia su modelli neri basati sulle equazioni polinomiali razionali.

1 INTRODUZIONE

L'obiettivo della ricerca è stato quello di verificare e validare alcune metodologie utilizzate per correggere le deformazioni di immagini satellitari su aree densamente urbanizzate per applicazioni da effettuare in condizioni di emergenza. Oltre a verificare le accuratèzze, sia planimetriche che altimetriche, conseguibili con le diverse metodologie, particolare attenzione è stata rivolta alla riduzione dei tempi di rilievo e di elaborazione necessari alla determinazione dei punti di appoggio e di controllo. Quest'ultimo aspetto è quello che viene presentato più approfonditamente nel presente articolo.

Il rilievo dei punti di appoggio e di controllo è una fase molto impegnativa di tutto il processo di ortorettifica: occorre determinare le coordinate di un numero spesso molto elevato di punti e con buona precisione. Per rendere quanto più possibile speditivo tutto il processo sono pertanto da privilegiare modalità di acquisizione delle coordinate dei GCP e CP che garantiscano una precisione piuttosto elevata senza essere troppo impegnative in termini di tempi e costi.

L'ortorettifica di precisione di immagini satellitari negli ultimi anni è stata oggetto di diverse indagini scientifiche in quanto numerose sono le applicazioni potenzialmente realizzabili in topografia, cartografia e telerilevamento. La disponibilità di immagini riprese da satelliti commerciali con a bordo sensori di elevata risoluzione EROS A (2m/pixel), IKONOS (1m/pixel) e Quickbird (0.60m/pixel), ha favorito lo sviluppo di diversi studi per verificare la possibilità di utilizzare tali immagini per la formazione e l'aggiornamento cartografico a media scala (1:25000-1:10000) fino a una scala maggiore (1:5000). Diverse iniziative a livello internazionale (tra le quali Chen and Teo 2002, Holland et al. 2002, Jacobsen 2005, Toutin 2004), e a livello nazionale (tra cui Crespi et al. 2006, Baiocchi et al. 2004, Radicioni et al. 2002, Dequal e Lingua 2002) sono state intraprese per verificare l'utilizzo delle immagini satellitari per applicazioni cartografiche sia dal punto di vista metrico che tematico.

L'utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per applicazioni cartografiche è possibile, però è necessario che esse vengano corrette dalle distorsioni sia radiometriche che geometriche da cui sono affette. Le correzioni radiometriche vengono effettuate prima del rilascio dell'immagine, mentre le distorsioni geometriche vengono corrette tramite procedure di ortorettifica, che, attualmente, sono basate

su due metodi principali: modelli rigorosi e modelli delle funzioni razionali (RFM – Rational Function Model). I modelli rigorosi sono modelli che usano un approccio di tipo fotogrammetrico basato sulle equazioni di collinearità che tiene conto della posizione e dell'assetto del satellite, delle caratteristiche del sensore, della rifrazione atmosferica. I modelli polinomiali non descrivono il processo fisico, ma usano una trasformazione generale per esprimere la relazione tra le coordinate immagine e le coordinate terreno.

Il calcolo dei parametri dei modelli di ortorettifica è basato sull'uso delle coordinate di punti di controllo (GCP) e la verifica dei risultati è eseguita tramite il confronto con le coordinate di Check Points (CP). Per le applicazioni cartografiche anche le immagini distribuite come "georeferenziate" necessitano di un vero e proprio sistema di appoggio a terra tramite un certo numero di punti di coordinate note. Ciò implica il riconoscimento sull'immagine di particolari ritenuti riconoscibili e facilmente identificabili per l'estrazione sia delle coordinate immagine sia delle coordinate nel sistema di riferimento oggetto. Le coordinate oggetto sono desunte essenzialmente secondo due diverse metodologie. Una prevede l'utilizzo di un supporto cartografico o ortofoto digitali con scala nominale tale da garantire precisioni compatibili con la risoluzione geometrica dell'immagine satellitare, l'altra richiede la realizzazione di campagne GPS in modalità tale da garantire precisioni adeguate: generalmente si assume come soglia di precisione minima un valore pari a metà della risoluzione geometrica dell'immagine satellitare oggetto di elaborazione.

Nel presente lavoro il rilievo dei GCP e CP è stato eseguito con strumentazione GPS in modalità RTK, appoggiandosi a una singola stazione permanente e non ad un'intera rete (correzioni interpolate su un'area). La ricezione delle correzioni differenziali è avvenuta via Internet mediante il dispositivo RIR¹. Si è scelto di utilizzare una modalità di acquisizione in tempo reale in quanto tale modalità consente di diminuire i tempi di rilievo e di elaborazione, inoltre può essere molto vantaggiosa non solo per la riduzione dei costi di tutto il processo, ma anche per applicazioni da effettuare in condizioni di emergenza.

La modalità RTK in ambito internazionale è una modalità consolidata già da alcuni anni; a livello nazionale, è stata effettuata una estensiva sperimentazione da diversi gruppi di ricerca (Barzaghi et al. 2004) per valutare l'efficienza e l'accuratezza del rilievo GPS in tempo reale con la ricezione di correzioni differenziali via Internet mediante l'utilizzo del dispositivo RIR. Sulla base delle elaborazioni condotte su un significativo campione di soluzioni il lavoro ha consentito di concludere che su distanze dalla stazione permanente contenute entro 40 km, le soluzioni *fixed* (soluzione con valore di ambiguità fissato ad intero) possono essere conseguite con percentuali variabili tra il 60 ed oltre il 90% dei casi e l'accuratezza, sebbene dipendente dalla distanza, risulta comunque inferiore a 4 cm in planimetria ed a 10 cm in quota. Sulla base di questa validazione del nuovo strumento RIR, è stata scelta una procedura di rilievo analoga per la determinazione dei GCP e CP necessari all'ortorettifica delle immagini satellitari EROS e IKONOS di Milano per verificare il possibile utilizzo di questa metodologia per effettuare aggiornamenti rapidi di cartografia in casi di emergenza. Alcuni lavori a livello nazionale che hanno impiegato una modalità di rilievo GPS in tempo reale per la determinazione di punti a terra per immagini satellitari sia appoggiandosi a una singola stazione permanente (Baiocchi et al. 2004), sia utilizzando correzioni di rete (Crespi et al. 2006) hanno ottenuto risultati soddisfacenti.

L'immagine EROSA1 e l'immagine IKONOS della città di Milano sono state ortorettificate tramite il modulo OrthoEngine del software commerciale Geomatica della PCI Geomatics, nel quale sono implementati sia il metodo RFM che il metodo rigoroso sviluppato dal gruppo di ricerca del Dott. Thierry Toutin presso il Canada Centre for Remote Sensing (Toutin, 2004). L'immagine EROSA1 è stata anche ortorettificata utilizzando un software scientifico SISAR sviluppato dal gruppo di ricerca di geodesia e geomatica presso l'università Roma La Sapienza (Baiocchi et al. 2004b). Trattandosi di un'area densamente urbanizzata l'ortorettifica è stata realizzata utilizzando sia il DTM che alcuni *3D City Models*, appositamente generati a partire dalla cartografia tecnica comunale 1:1000 della città di Milano.

¹ D. G. Service di Rieti, commercializzato Geotop di Ancona.

2 RILIEVO DEI GCP E CP IN MODALITÀ GPS-RTK

La determinazione delle coordinate dei GCP e dei CP è stata effettuata, sia per l'immagine EROSA1 che per l'immagine IKONOS, mediante un rilievo GPS in modalità cinematica in tempo reale appoggiandosi a una singola stazione GPS permanente (stazione *master*) che trasmette le correzioni differenziali mediante il protocollo RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services). Il rilievo RTK è stato realizzato mediante l'uso di un ricevitore GPS TOPCON Legacy-E con controller, di un'antenna TOPCON PGA-1 e di un dispositivo, il RIR, che permette di ricevere le correzioni differenziali in tempo reale tramite collegamento a Internet in modalità GPRS, usando il protocollo TCP/IP. Il RIR è collegato direttamente al ricevitore GPS *rover*, ha dimensioni compatte e basso costo e permette di ridurre il tempo di acquisizione in quanto si può collegare automaticamente ad Internet e può chiamare nuovamente la stazione *master* nel caso di interruzione del collegamento.

La stazione di coordinate note (stazione *master*) che trasmette il messaggio RTCM (per questo rilievo versione 2.1 *Type 20-21*), ovvero le correzioni differenziali per le misure sulle portanti L1 e L2 e per le misure di pseudorange, prescelta per questo rilievo è la stazione permanente della provincia di Milano. Questa stazione si trova a una distanza inferiore a 10 km dai punti selezionati sia per l'immagine EROS che l'immagine IKONOS. Durante il rilievo cinematico sono stati acquisiti i dati con campionamento a 1 secondo; per ciascun punto è stato preso come valore di riferimento la media di 60 valori determinati con soluzione *fixed*.

I GCP e CP selezionati sull'immagine EROSA1 appartengono alla città di Milano e ad alcuni comuni limitrofi a nord ed hanno una densità pari a un punto ogni 4 km². L'area considerata per il rilievo riguarda solo una porzione dell'immagine EROSA1, quella più densamente urbanizzata, e copre un'estensione pari a circa 81 km². Il rilievo dei punti dell'immagine EROSA1 è stato effettuato nella seconda parte del 2004 e inizi del 2005; a causa di problemi tecnici presso la stazione permanente della Provincia di Milano, tre punti sono stati rilevati collegandosi alla stazione permanente di Como che però si trova ad una distanza di circa 30-40 chilometri dai punti rilevati. Per questi tre punti non è stato possibile fissare a valore intero le ambiguità di fase in tempo reale, quindi i dati sono stati raccolti anche in modalità statica ed elaborati in un secondo momento. In tutto sono stati rilevati 26 punti con soluzione *fixed*, 6 con soluzione *float* (ambiguità iniziale reale) e 5 con soluzione *standalone* (posizionamento assoluto di solo codice).

In tabella 1 sono riportati i valori medi delle accuratezze ottenute per le coordinate stimate in modalità RTK *fixed* per la componente verticale e per le componenti planimetriche (non è stato possibile separare i valori delle singole componenti planimetriche per ragioni di output strumentali).

σ_{plan} [cm]	σ_h [cm]
2.3	2.8

Tabella 1 - Immagine EROS A1: 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 per il trattamento in post-elaborazione. L'elaborazione alle differenze doppie di fase è stata effettuata utilizzando software commerciali *Trimble Total Control* e *GPSurvey* rispetto alla stazione permanente della provincia di Milano tranne che per i punti rilevati successivamente alla data del 22 novembre 2004 per i quali si è utilizzata la stazione permanente dell'università statale di Milano presso l'Istituto di ingegneria agraria, in quanto la stazione della provincia di Milano è risultata non funzionante. In tal modo è stato possibile determinare le coordinate con soluzione *fixed* in post-elaborazione per tutti i punti che non avevano raggiunto tale risultato nel rilievo RTK. I valori medi della precisione delle coordinate determinate mediante elaborazione statica sono riportati in tabella 2.

σ_{lat} [cm]	σ_{long} [cm]	σ_h [cm]
1.1	0.7	1.0

Tabella 2 - Immagine EROS A1: sqm medio della stima delle coordinate con esito *fixed* ottenute in modalità statica.

Sull'immagine IKONOS i punti di appoggio e controllo necessari (GCP e CP) sono stati individuati 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 intera, grande circa 72 km². Mediante rilievo cinematico, effettuato nel 2005, sono state determinate le coordinate di 33 punti con esito *fixed*, 4 punti con esito *float* e 3 punti con esito *standalone*. In tabella 3 sono riportate le precisioni medie sui 33 punti *fixed* insieme per le due componenti planimetriche e per la componente altimetrica.

σ_{plan} [cm]	σ_h [cm]
1.9	2.7

Tabella 3 - Immagine IKONOS: sqm medio della stima delle coordinate con esito fixed mediante rilievo RTK.

Per i punti con esito *float* e *standalone* sono stati acquisiti i dati anche in modalità statica (circa 15 minuti) che sono stati elaborati in un secondo momento in modalità statica relativa rispetto alla stazione permanente della provincia di Milano utilizzando il programma Trimble Total Control. L'esito di tale elaborazione è stato *fixed* per tutti e 7 i punti, le precisioni medie per i 7 punti sono riportate in tabella 4.

σ_{lat} [cm]	σ_{long} [cm]	σ_h [cm]
1.1	0.7	1.0

Tabella 4 - Immagine IKONOS: sqm medio della stima delle coordinate con esito fixed ottenute in modalità statica.

Occorre precisare che il rilievo RTK è stato effettuato appoggiandosi a una singola stazione e non ad un'intera rete, quindi non sono state utilizzate le correzioni interpolate su un'area. Lavori recenti (Biagi et al, 2006) hanno dimostrato che questa modalità, NRTK (Network RTK), consente di ottenere precisioni analoghe a quelle già verificate per la modalità RTK singola stazione, con il vantaggio di mantenere precisioni equivalenti a distanze diverse dalle stazioni permanenti. L'evoluzione del posizionamento in tempo reale tramite reti di stazioni permanenti e il miglioramento degli apparati e delle procedure utilizzate che fanno uso di un nuovo protocollo NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) (Lenz 2004) più protetto da malfunzionamenti rispetto al protocollo TCP/IP dovrebbero consentire di superare alcuni limiti riscontrati in questa sperimentazione che riguardano la connessione GPRS che non sempre ha funzionato in modo adeguato e la percentuale dei successi (ossia numero di soluzioni *fixed*) durante i rilievi pari a circa il 70% per il rilievo per l'immagine del satellite EROS e circa l'80% per il i punti selezionati per l'immagine di IKONOS).

Per l'ortorettifica sono state utilizzate come coordinate planimetriche le coordinate espresse in Gauss-Boaga ottenute a partire dalle coordinate IGM95 provenienti dal rilievo GPS-RTK utilizzando i parametri di trasformazione dei punti IGM95 più vicini, le altezze ortometriche sono state ricavate a partire dalle altezze ellissoidiche GPS interpolando il modello del geoido ITALGEO05 (Barzaghi et al. 2007) nei punti del rilievo GPS.

3 CARATTERISTICHE DELLE AREE TEST E ORTORETTIFICA TRAMITE DTM E 3D CITY MODEL

L'immagine EROS A1 considerata in questo lavoro è stata ripresa il 23 Aprile 2002 sulla città di Milano. Si tratta di un'immagine libera da nuvole, che presenta un angolo di off-nadir di 13.8°, che può essere considerato di modesta entità. La risoluzione geometrica delle immagini EROS A1, disponibili nella sola modalità pancromatica, è di 1.8m x 1.8m. Nel caso dell'immagine oggetto di studio (vedi tabella 5), tenendo conto dell'inclinazione del sensore al momento della presa, tale risoluzione diventa circa 2m x 2m.

Angolo di off-nadir	13.8°
Risoluzione geometrica	2m x 2m
Numero di righe	7943
Numero di colonne	6889
Area al suolo	169 km ²

Tabella 5 – Caratteristiche dell'immagine EROS A1 oggetto di studio.

La seconda immagine considerata è stata invece ottenuta unendo fra loro due scene adiacenti acquisite dal satellite IKONOS il 19 maggio 2000, sempre 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 (le cui caratteristiche sono descritte in tabella 6), per essere elaborate contestualmente in fase di ortorettifica.

Angolo di off-nadir	19.8°
Risoluzione geometrica	1m x 1m
Numero di righe	27036
Numero di colonne	12084
Area al suolo	328 km ²

Tabella 6 – Caratteristiche dell'immagine IKONOS oggetto di studio.

Per ricostruire l'altimetria del territorio milanese, sia in termini di DTM che di *3D City Model*, è stata utilizzata la cartografia tecnica comunale 1:1000 disponibile in formato Autocad e shapefile, completata nel 2004 (Bezoari et al., 2005). Si tratta di una carta 3D, quindi ogni suo punto, sia che appartenga al terreno o all'edificato, è noto nelle sue tre coordinate. In particolare sono stati utilizzati i punti quotati per la realizzazione del DTM, tali punti sono stati integrati con i poligoni che rappresentano gli edifici per realizzare il *3D City Model*.

L'immagine EROS A1 è stata ortorettificata utilizzando sia il modello fisico di Toutin che le RFM basandosi sulle coordinate note di 26 GCP. L'ortorettifica è stata verificata su un set di 7 CP. I risultati determinati in termini di RMS dei residui sono stati valutati per entrambe le coordinate Nord e Est. Il modello di Toutin presenta dei residui leggermente inferiori rispetto alle RFM, tuttavia l'ordine di grandezza dei valori è lo stesso. Ciò è in accordo con quanto ci si può aspettare nel caso di una elevata numerosità di GCP, quando anche i modelli polinomiali forniscono risultati interessanti. L'accuratezza dell'ortorettifica è in ogni caso inferiore alla dimensione del pixel; maggiori dettagli sui risultati ottenuti sono riportati nel lavoro (Baiocchi et al. 2006).

Anche l'immagine IKONOS è stata ortorettificata sia con le RFM che con il modello di Toutin e con diverse numerosità di GCP in modo da verificare le accuratèzze 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'accuratèzza sono stati considerati 10 CP comuni a tutte le configurazioni e ovviamente diversi dai GCP usati per la stima della trasformazione dell'ortorettifica. Per valutare l'accuratèzza dell'ortorettifica, per ogni configurazione e per i diversi modelli è stato calcolato l'RMS, per entrambe le coordinate Est e Nord. I valori di RMS scendono 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'accuratèzza 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 accuratèzza inferiore alla dimensione del pixel, è necessaria una densità di GCP di almeno 1 punto ogni 2 km². Per quanto riguarda il comportamento dei due modelli di ortorettifica considerati, risulta che, nel caso affrontato in questo lavoro, probabilmente a causa delle condizioni favorevoli legate al terreno

particolarmente pianeggiante, le RFM e il modello fisico forniscono risultati equivalenti. Per maggiori dettagli sui risultati si veda il lavoro (Carrion et al. 2006).

Le due immagini sono state ortorettificate non solo con il DTM ma anche con *3D City Model*, il territorio infatti pur essendo pianeggiante e quindi poco problematico dal punto di vista dell'altimetria è densamente urbanizzato, con edifici di altezza significativa. Per l'immagine EROSA1 il 3D City Model è stato ricavato in un'area test situata intorno al grattacielo Pirelli mentre per l'immagine IKONOS è stato ricavato in un'area test situata nelle vicinanze della Fiera di Milano.

Dopo aver ortorettificato le immagini EROSA1 e IKONOS utilizzando i *3D City Models*, è stata verificata l'accuratezza del posizionamento di punti sulla sommità di edifici. Per l'immagine EROS si sono considerati 15 punti alla sommità di altrettanti edifici situati nei dintorni del grattacielo Pirelli ed è stata confrontata la loro posizione sulla carta tecnica con quella sull'immagine ortorettificata mediante il DTM e sull'immagine ortorettificata con il 3D City Model. Per l'immagine IKONOS il medesimo confronto è stato effettuato considerando 20 punti su edifici situati nei pressi della Fiera di Milano. L'errore di posizionamento riscontrato per entrambe le immagini è decisamente non accettabile, esso infatti ha un valore di circa 25 m per il grattacielo Pirelli e di circa 4-6 m per edifici di altezza intorno ai 20 m. L'errore diminuisce fino a raggiungere un valore pari a quello riscontrato in planimetria nel caso in cui si utilizzi il 3D City Model.

4 CONCLUSIONI

Questo lavoro presenta i risultati di una sperimentazione effettuata per verificare l'utilizzo della modalità di posizionamento GPS-RTK appoggiandosi a una singola stazione permanente per la determinazione dei punti di appoggio e controllo necessari per l'ortorettifica di immagini ad alta risoluzione. Le immagini considerate riprese dei satelliti EROS e IKONOS riguardano un'area densamente urbanizzata quale è quella della città di Milano. L'esito della sperimentazione è stato positivo in quanto l'utilizzo della modalità di acquisizione in tempo reale ha certamente diminuito i tempi e i costi del rilievo rispetto alla modalità in post-elaborazione e ha fornito, per una buona percentuale dei punti rilevati, accuratezze delle coordinate compatibili con gli scopi dell'ortorettifica. Per entrambe le immagini le accuratezze verificate dopo l'ortorettifica sono state inferiori alla dimensione del pixel.

Permangono alcune difficoltà nell'utilizzo di questa modalità di rilievo legate soprattutto a problemi di connessione GPRS a Internet e alla percentuale dei successi, ossia numero di soluzioni *fixed*. L'evoluzione del posizionamento in tempo reale tramite reti di stazioni permanenti e il miglioramento degli apparati e delle procedure utilizzate che fanno uso anche di un nuovi protocolli di trasmissione dati dovrebbero consentire di superare in gran parte anche queste difficoltà.

RINGRAZIAMENTI

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 le scene del satellite IKONOS; 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.

La scena del satellite EROS è stata acquistata nell'ambito del progetto PRIN 2003 (coordinatore nazionale prof. S. Dequal) 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".

BIBLIOGRAFIA

AA VV Geomatica OrthoEngineUser GuideVersion 9.1 November 2003.

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*, Bollettino della SIFET – Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia, 4/2006, pp.79-94.

- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2004a) *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici*, Atti della 8° conferenza ASITA.
- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2004b) *A new rigorous model for the orthorectification of synchronous and asynchronous high resolution imagery*, 24th EARSeL Symposium, Dubrovnik (Croatia).
- Barzaghi R., Borghi A., Carrion D., Sona G. (2007), *Refining the estimate of the Italian quasi geoid*, sottomesso al Bollettino di Geodesia e Scienze Affini.
- Barzaghi R., Betti B., Biagi L., Casella V., Crespi M., Franzini M., Manzano 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 Vol I, pp. 311-316.
- 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.
- 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.
- Biagi L., Sansò F., Achilli V., Agugiario G., Belluomini P., Benciolini B., Betti B., Bonacina C., Caldera S., Casella V., Cosso T., Esposito S., Forlani G., Franzini M., Gemini M., Mazzoni A., Pinto L., Salemi G., Scaioni M., Scuratti M., Sguerso D., Spalla A., Tornatore V., Vassena G., Visconti M.G. (2006) *Il servizio di posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale* Bollettino SIFET N. 3/2006, pp 71-90.
- Carrion D., Gaetani M. E., Tornatore V. (2006) *Ortorettifica di un'immagine IKONOS della città di Milano e sua validazione*, Atti della 10^a Conferenza nazionale ASITA, Bolzano, Italia 14-17 novembre 2006 Vol I, pp 593-598.
- Chen L. C., Teo T. A. (2002) *Rigorous Generation of Digital Orthophotos from EROS-A High Resolution Satellite Images* International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34, Part 4, pp. 620-625.
- Crespi, M., Giannone, F., Poli, D. (2006) *Analysis of rigorous orientation models for pushbroom sensors. Applications with Quickbird* Accepted for the Reviewed part of the Proceedings of the ISPRS Commission I, WG V Meeting, 4-7 July, Paris, 2006.
- Dequal S., Lingua A. (2002) *L'ortofoto di precisione della città di Torino*, Atti della 6° conferenza ASITA.
- Holland D. Guilford B., Murray K. (2002) *Oeepe-Project on Topographic Mapping from High resolution Space Sensors-* OEEPE, Official Publication n. 44 Kaula W. M. (1966). *Theory of Satellite Geodesy* Blaisdell Publishing Company.
- Lenz E. (2004) *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) Application and Benefit in Modern Surveying Systems*, Proceedings of FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004 www.fig.net/pub/athens/papers/ts03/ts03_2_lenz.pdf.
- Jacobsen K., Büyüksalih G., Topan H. (2005), *Geometric models for the Orientation of High Resolution Optical Satellite Sensors*, ISPRS Hannover Workshop 2005: High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information.
- Radicioni F., Grassi S., Mancini F. (2001) *Utilizzazione di immagini ad alta risoluzione a fini cartografici*, in atti della V Conferenza nazionale ASITA CXV-CXXVIII.
- Toutin T. (2004), *Review article: Geometric processing of Remote Sensing images: models, algorithms and methods*, International Journal of Remote Sensing , 25:1893-1924.

