ESTRAZIONE DI DSM E REALIZZAZIONE DI ORTOFOTO DA IMMAGINI IKONOS.

Valerio BAIOCCHI(*), Raffaella BRIGANTE(**), Guido FASTELLINI(**), Gianluca MASSEI (***), Vincent OTTAVIANI(***), Fabio RADICIONI(**)

*DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma "La Sapienza",
via Eudossiana 18 – 00184 Roma tel. 06 44585068, fax. 06 44585515, e-mail: valerio.baiocchi@uniroma1.it
** Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Via Duranti, 93 – 06125 Perugia – topos@unipg.it
*** Servizio Ambiente - Comune di Foligno, P.zza della Repubblica,1- Foligno – Perugia –
e-mail: ambiente@comune.foligno.pg.it

Riassunto
Nel presente lavoro, svolto nell'ambito di un accordo di ricerca tra l'Università degli Studi di perugia e il Comune di Foligno, sono illustrate le fasi di estrazione di un DSM da stereocoppie IKONOS che ricoprono un'area appartenente al territorio comunale, corrispondente in particolare alla zona di Colfiorito. La disponibilità di stereocoppie satellitari ad alta ed altissima risoluzione per utenti civili è molto recente e questa è una delle primissime applicazioni reali per una pubblica amministrazione in ambito nazionale. Caratteristica specifica delle immagini acquisite per questa applicazione è la modalità di presa "*across track*", ovvero le due immagini sono state acquisite nella direzione ortogonale all'orbita, confermando quindi che il satellite IKONOS deve considerarsi una piattaforma che acquisisce in modalità generalmente sincrona ma, all'occorrenza, anche asincrona.

Abstract
In the present paper the phases of extraction of a DSM from IKONOS stereopairs are illustrated. Stereopairs represents an area surrounding the municipality of Foligno (Umbria, Italy). The availability of high and very high resolution satellite stereopairs is very recent and this is one of the first real applications for a public administration in Italy. Specific characteristic of the images acquired for this application is the "across track" acquisition so the two images have been acquired in the direction across the orbit confirming therefore that the satellite IKONOS has to be considered a platform that generally acquires in synchronous mode but, if necessary, is also capable of asynchronous acquisition.

Introduzione

La disponibilità commerciale di stereocoppie da satelliti ad alta ed altissima risoluzione è divenuta realmente operativa solo recentemente, infatti, fino a tre o quattro anni fa, pochissime erano le sperimentazioni in merito, generalmente basate su immagini dimostrative rilasciate a scopo di sperimentazione da alcune delle società che gestiscono i satelliti. Tale sperimentazione nasce dalla richiesta del Comune di Foligno che ha necessità di un modello digitale della superficie di una parte del suo territorio con una accuratezza compatibile con quella ottenibile da questo tipo di immagini. La realizzazione di questo modello è una delle prime utilizzazioni di tali tecniche per un'amministrazione locale che in futuro potrebbe essere uno tra i maggiori utilizzatori di tali dati e quindi saranno valutate e studiate anche eventuali ulteriori possibilità di applicazione.

1. Area di interesse e materiale a disposizione

L'area di interesse appartiene al Comune di Foligno (zona di Colfiorito e dintorni), ha un'estensione di circa 150 Km^2, comprende zone urbane di piccola estensione, zone extraurbane più estese, zone montuose, con quote variabili tra i 300 e i 1100 m s.l.m. La stereocoppia utilizzata è del tipo "*Standard geometrically correct*" pancromatica con risoluzione di 1 m. Normalmente il satellite IKONOS acquisisce le immagini in modalità *sincrona along track*, ovvero l'array di elementi sensibili è disposto trasversalmente all'orbita, quindi le varie righe dell'immagine, che si estendono da est ad ovest, vengono acquisite man mano che il satellite si sposta. Le immagini utilizzate in questo lavoro, invece sono state acquisite in una modalità nuova: il sensore è stato disposto in modo che l'array di elementi sensibili risultasse parallelo all'orbita, successivamente è stato costantemente ruotato durante l'acquisizione in modo da poter acquisire la scena in direzione trasversaleall'orbita stessa. Questa rotazione del sensore, dovuta probabilmente all'ampiezza dell'area che si estende per 16 km nella direzione est-ovest (> degli 11 km acquisibili con una sola presa along track) ha reso i bordi dell'immagine non paralleli al reticolato cartografico UTM e seghettati.
La stereocoppia richiesta, inoltre, è stata fornita suddivisa in due parti probabilmente per diminuire la dimensione dei files da gestire, anche se si è reso così necessario elaborare 4 immagini anziché 2.
Le stereocoppie sono state elaborate con il software Orthoengine mediante il metodo rigoroso (Modello Integrato e Unificato parametrico implementato dal Dr.Ing. T.Toutin – CCRS*, Canada).

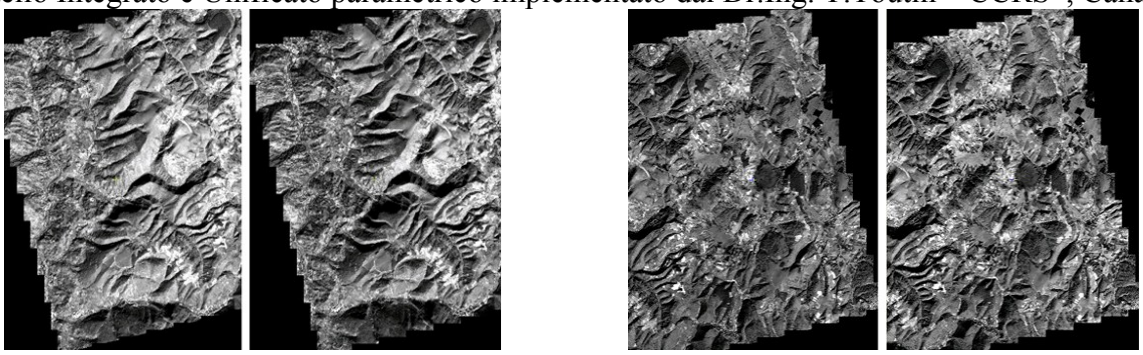


Figura 1 – Le stereocoppie utilizzate

2. Organizzazione del lavoro

Il lavoro di estrazione del DSM è stato preceduto dalle seguenti fasi:
primo orientamento delle quattro immagini utilizzando dei punti di controllo (GCP) già noti da una precedente sperimentazione su parte della stessa zona; scelta dei nuovi punti di appoggio sulle immagini e pianificazione degli spostamenti tra i vari GCP per minimizzare i tempi di percorrenza; rilievo di 48 GCP e rilievo di 57 tracciati cinematici effettuati durante gli spostamenti; elaborazione dei dati GPS; preparazione delle monografie dei 48 punti di appoggio.
La procedura per l'estrazione del DEM prevede l'inserimento dei *Ground control point* (GCP), ovvero punti a coordinate note facilmente individuabili sulle immagini e degli eventuali *Tie point,* ovvero punti dei quali non è necessario conoscere le coordinate ma che siano facilmente riconoscibili su due diversi fotogrammi. Per questo studio si è deciso di rilevare le coordinate dei GCP mediante rilievo GPS, l'unico che potesse garantire una precisione adeguata. Successivamente, con un procedimento pressoché automatico, possono essere generate le immagini epipolari con le quali la ricerca dei punti omologhi può avvenire in modo più rapido. Infine si può passare all'estrazione del DEM e alla sua "geocodifica", ovvero la sua proiezione sul sistema di coordinate terreno (in questo caso WGS-84).

3. Rilievo GPS statico e cinematico

I punti di controllo sono stati scelti con una distribuzione planimetrica uniforme in tutta l'immagine ricoprendo interamente i bordi esterni e le zone di sovrapposizione ed evitando le zone d'ombra. Sono stati misurati 48 GCP (con una media di 10 punti/squadra al giorno a causa della morfologia e dell'estensione della zona), 24 in modalità NRTK (utilizzando le correzioni differenziali della rete di stazioni permanenti della Regione Umbria e dell'Università di Perugia) e 24 in modalità statico

rapido con sessioni di misura di 15 minuti, ove la copertura GSM non rendeva possibile la modalità RTK. Si ricorda che con la modalità NRTK è possibile ottenere precisioni centimetriche in planimetria e subdecimetriche in altimetria. Le precisioni relative ai punti di controllo rilevati in modalità statico rapido sono risultate invece inferiori a 1.8 cm in planimetria e 2.5 cm in altimetria, valori quindi adeguati allo studio in oggetto.
Nella figura 3 è mostrata la distribuzione dei GCP sulle due stereocoppie 1a / 1b e 2a / 2b.

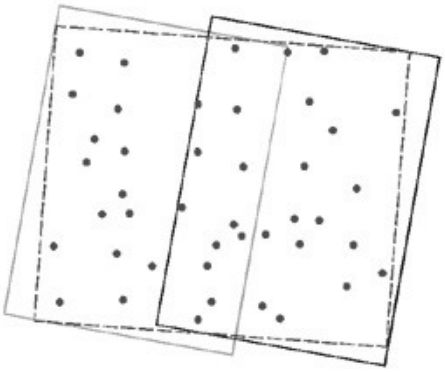


Figura 2 – Schema distibuzione dei GCP sulle stereocoppie

Gli spostamenti tra i vari GCP sono stati pianificati data la non facile accessibilità di alcuni di essi, in modo tale da ottimizzare i tempi di percorrenza. Durante gli spostamenti, sono stati rilevati tutti i tracciati con antenne GPS in modalità cinematica per poter poi effettuare un primo controllo sull'altimetria in coincidenza delle strade. Per questo sui veicoli utilizzati per gli spostamenti sono state installate antenne Topcon JPS LegAnt_E, in particolare su uno dei due veicoli ne sono state installate due per aumentare l'affidabilità delle misure tramite un confronto interno. I ricevitori impiegati sono stati precedentemente settati con un tempo di campionamento di 1 secondo, per poter ottenere dei punti quanto più vicini, vista la modalità di rilevamento. I file sono stati elaborati singolarmente con il software GeoGenius2000 (in totale sono stati rilevati 57 percorsi, di cui 51 fixed) in maniera distinta a seconda che si trattasse di un tracciato rilevato con una o con due antenne: per il veicolo con un'unica antenna i file sono stati elaborati due volte da due stazioni permanenti distinte, Foligno (REFO) e Gualdo Tadino (ITGT); per il veicolo con due antenne i file sono stati elaborati una sola volta dalla stazione permanente di Foligno (REFO). Questo perché per ogni tracciato si potessero avere due posizioni per la stessa epoca allo scopo di aumentare il grado di ridondanza e di realizzare confronti in analisi successive. Per ottenere delle posizioni con precisione centimetrica sono stati imposti dei filtri sulle posizioni ottenute (solo quelle fixed), il primo in base agli Rms imponendo che per le coordinate N e E essi risultassero inferiori a 0,3 m mentre per le altezze ellissoidiche inferiori a 0,5 m, e il secondo in base alle distanze: per i tracciati rilevati con una antenna si è voluta la coincidenza delle coordinate (± 10cm), mentre per i tracciati rilevati con due antenne si voleva che la distanza tra i due punti fosse pari all'offset misurato tra le due antenne installate sul veicolo (± 10cm).

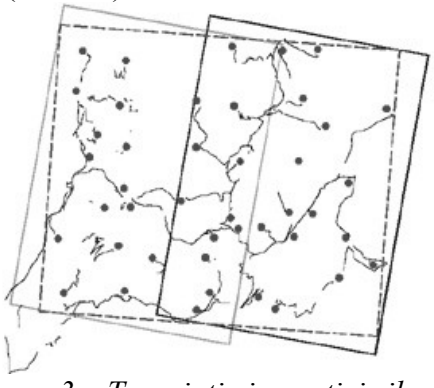


Figura 3 – Tracciati cinematici rilevati

I tracciati rilevati sono stati innanzitutto sovrapposti alla CTR alla scala 1:10 000, ottenendo una buona sovrapposizione, come mostrato in figura 4.

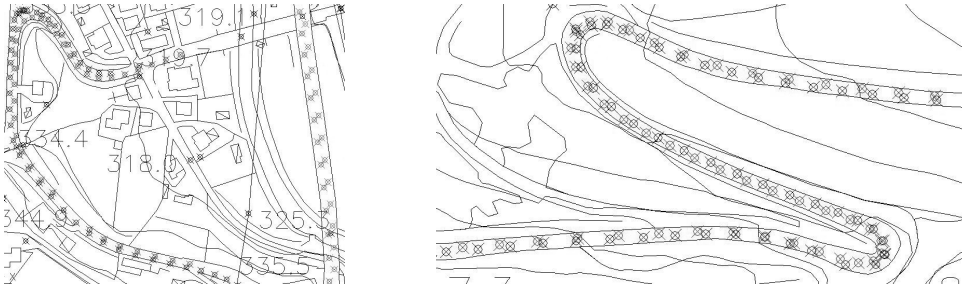
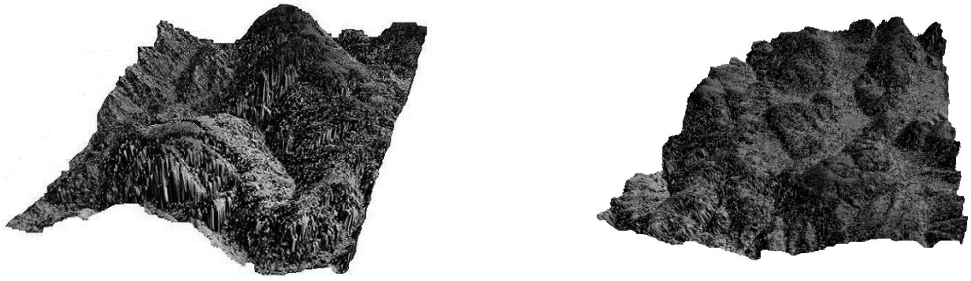


Figura 4 – Tracciati cinematici sovrapposti alla CTR

4. Estrazione e validazione del DEM

Per l'estrazione del modello digitale di superficie, oltre ai 48 GCP per ogni coppia di immagini sono stati inseriti manualmente 15 tie points, è stato impostato un passo del DEM pari a 1 metro, un grado di dettaglio medio, le quote minime e massime del terreno rispettivamente pari a 300 m e 1100 m, un valore di background (corrispondente allo sfondo delle immagini) pari a -150 ed un valore di failure (corrispondente ai punti in cui è fallita la correlazione) pari a -100.



DEM 1 *DEM 2*

Figura 5 – Viste tridimensionali DEM estratti

La precisione del DEM estratto è stata valutata attraverso diversi confronti:

Confronto altimetrico sui GCP : il confronto ha evidenziato che per il 46% dei punti vi è una differenza di elevazione inferiore ad 1 m e per il 42% compresa tra 1 e 2 m, con una media di 0.51 m per il DEM 1 e di 0.69 per il DEM 2.

Confronto altimetrico con i tracciati cinematici : il confronto ha evidenziato i risultati seguenti:

	DEM 1	DEM 2
Δ<5 m	91.40%	85.32%
Δ<10 m	96.33%	96.33%

Figura 6 – Risultati confronto con i tracciati cinematici

Si è comunque verificato che le differenze di elevazione maggiori di 20 m si riferiscono a punti prossimi ai bordi delle immagini, quindi prossimi al background (-150) o alle zone in cui è fallita la correlazione (-100), generalmente in corrispondenza delle zone d'ombra.

Confronto altimetrico sui punti quotati della CTR : il confronto è stato fatto esportando i due DEM in ambiente ESRI ove, mediante interpolazione bicubica, il software ha stimato le quote sul DEM corrispondenti alle posizioni planimetriche dei punti quotati, su un totale di 3477 punti. Nei grafici seguenti si riportano le percentuali dei punti indagati in base alle differenze di elevazione.

Figura 7 – Risultati confronto con punti quotati CTR

Si è comunque verificato che le differenze maggiori di 20 m si riferiscono a punti prossimi al background (-150) o alle zone in cui è fallita la correlazione (-100).

5. Ortorettifica e mosaico

Dopo l'estrazione del DEM è stato possibile ortorettificare le immagini e successivamente mosaicarle. L'ortofoto creata è stata confrontata con la carta tecnica regionale in modo tale da valutarne la precisione planimetrica.

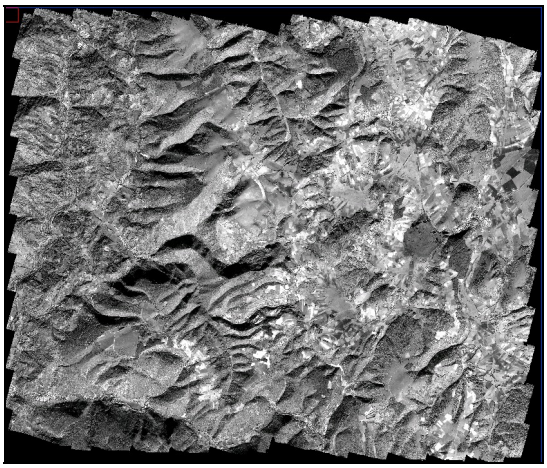


Figura 8 – Mosaico

Il confronto planimetrico con la CTR alla scala 1:10 000 ha evidenziato una buona sovrapposizione in prossimità delle strade ed una sovrapposizione meno buona in corrispondenza degli edifici a causa dell'effetto prospettico (essendo le prese inclinate i tetti degli edifici risultano spostati rispetto alla loro proiezione a terra).

L'ortofoto è stata inoltre sovrapposta ai tracciati cinematici, ottenendo anche in questo caso buona corrispondenza.

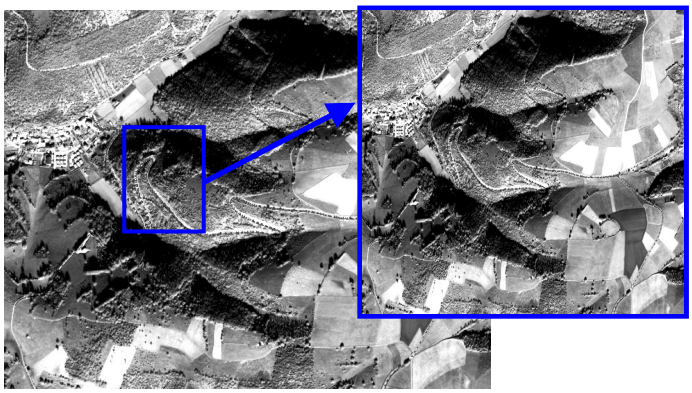


Figura 9 – Sovrapposizione mosaico – tracciati cinematici

I due DEM sono stati sovrapposti in modo tale da ottenere un unico modello. Inoltre, sovrapponendo il mosaico al DEM totale si sono ottenute delle efficaci viste tridimensionali della

zona di studio.

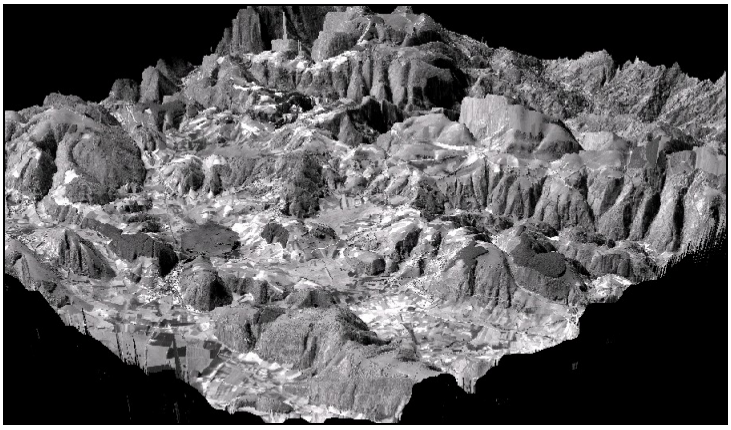


Figura 10 – Sovrapposizione mosaico – DEM : vista 3D

6. Conclusioni

Di seguito si riportano in sintesi i risultati ottenuti in questa prima fase della sperimentazione:

- impossibilità di utilizzare i dati originari;
- necessità di applicare procedure di correzione geometrica delle immagini;
- una buona qualità dei punti GPS rilevati determina un buon grado di affidabilità del risultato finale;
- precisioni finali in linea con quelle proprie della cartografia a scala 1: 5.000-10.000 (1-2 m);
- ortofoto utilizzabili come integrazioni alle tradizionali carte topografiche;
- il confronto con i punti della Carta Tecnica Regionale ha fornito delle differenze medie in altimetria di circa 2 metri e mezzo.
- il confronto con i 48 GCP ha mostrato una media di differenze altimetriche pari a circa mezzo metro per entrambi i DEM estratti a partire dalle immagini satellitari.

Ulteriori ricerche sono in corso per cercare di stabilire quali miglioramenti si possono ottenere utilizzando differenti algoritmi o prefiltrando le immagini.
Inoltre si sta operando in modo da generare un'ortofoto a colori della zona ed un DEM più accurato utilizzando come base un mosaico delle immagini grezze.
Gli studi futuri prevedono l'utilizzo delle immagini multispettrali per effettuare una classificazione dell'area di studio ed un confronto con delle immagini aeree della stessa zona.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2003) "OrthoEngine Satellite Projects Version 9.1 User's Guide", *PCI Geomatica*.
J. Grodecky, G. Dial. (2002) "IKONOS geometric accuracy" www.spaceimaging.com
J. Grodecky, G. Dial. (2001) "IKONOS stereo feature extraction-RPC approach" www.spaceimaging.com
Kölbl O. (2001) "Technical Specifications for the Elaboration of Digital Elevation Models", EPFL, Version 16l, final Group Version, of April 29 2001. – *www.intesagis.it*
Kraus K. (1997) *Photogrammetry, Vol. 2 , (Advanced Methods and Applications)*, Libreria Universitaria Leprotto e Bella, Torino
Morgan M. (2004), "Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes" (Ph. D. Thesis) *UCGE Report*
Toutin T. (2004), "DTM Generation from IKONOS In-track Stereo Images using 3D physical model", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70: 695-702
Toutin T. (2004), "Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods", *International Journal of Remote Sensing ,* 25:1893-1924