

# **DSM ESTRATTI DA STEREOCOPPIE IKONOS ED EROS A: ACCURATEZZA MEDIA E SUA DIPENDENZA DALLA MORFOLOGIA E DALLA COPERTURA DEL SUOLO**

Valerio BAIOCCHI, Mattia CRESPI, Laura DE VENDICTIS,  
Augusto MAZZONI, Alessandro SALERNI

DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”,  
via Eudossiana 18 – 00184 Roma tel. +39 06 44585097, fax +39 06 44585515, e-mail: mattia.crespi@uniroma1.it

## **Riassunto**

Lo scopo di questo lavoro è valutare l'accuratezza media, e la sua dipendenza in funzione della morfologia e della copertura del suolo, dei modelli digitali di superficie (DSM) estratti da stereocoppie acquisite dai satelliti ad alta risoluzione IKONOS II ed EROS A.

I DSM sono stati generati tramite il software PCI Geomatica OrthoEngine v. 9.0 che implementa il ben noto modello rigoroso, sviluppato dal Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada (CCRS).

Il lavoro riprende e sviluppa i risultati di una sperimentazione presentata all'8° Conferenza Nazionale Asita (Baiocchi et al. 2004); vengono quindi illustrati i problemi incontrati ed i risultati ottenuti da tre sperimentazioni successive che hanno interessato due stereocoppie pancromatiche IKONOS II (con una piccola sovrapposizione) dell'area di Pozzuoli (Napoli) ed una stereocoppia EROS A dell'area di Tivoli (Roma).

Per stimare l'accuratezza media dei DSM estratti sono stati eseguiti 3 tipi di confronti: il primo controllo è stato basato su un numero significativo di punti di controllo indipendenti rilevati tramite una campagna GPS cinematica; sono stati poi eseguiti dei confronti locali e globali con DEM generati da cartografia per valutare la dipendenza dell'accuratezza dalla morfologia e dalla copertura del suolo.

I test eseguiti hanno portato ad un errore quadratico medio (RMS) di 1.9 e 6.0 m per IKONOS II ed EROS A rispettivamente, ma si ritiene che l'accuratezza intrinseca sia meglio rappresentata dai risultati ottenuti sul terreno agricolo e sui laghi, dove si è ottenuto un RMS di 1.9 e 5.0 m per IKONOS II ed EROS A rispettivamente.

I DSM estratti sono stati classificati secondo il criterio proposto dal Gruppo di Lavoro DTM e Ortofoto del Comitato Tecnico di Coordinamento dell'Intesa Stato-Regioni-Enti Locali sui sistemi informativi geografici sotto la direzione di O. Köebl (Köebl, 2001).

## **Abstract**

The goal of this work was to evaluate the mean accuracy and its dependency on morphology and land cover types of the digital surface models (DSMs) extracted from IKONOS II and EROS-A high-resolution satellite in-track stereo imagery. DSMs were generated by the software PCI Geomatica OrthoEngine v. 9.0, which implements the well-known 3D rigorous (physical) model developed at the Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada (CCRS).

The paper illustrates the encountered problems and the achieved results during three experiments regarding two stereo IKONOS II panchromatic images (with a small overlapping) of the Pozzuoli area (Naples) and one stereo EROS-A image of the Tivoli area (Rome).

A mean sample accuracy (RMS) of 1.9 and 6.0 m were achieved for IKONOS II and EROS A respectively but the intrinsic accuracy is better represented by the results obtained on bare soil and lakes, where RMS of 1.9 and 5.0 m were achieved for IKONOS II and EROS-A respectively.

The extracted DSMs were classified according to the criteria established by the Technical Steering Committee of the Italian State-Region Conference for GIS under the direction of O. Köebel (Köebel, 2001).

## Risultati IKONOS II

L'area di studio interessa la zona di Pozzuoli (Napoli); per entrambe le stereocoppie la copertura del suolo e la morfologia sono molto variabili: aree residenziali, boschi fitti, grandi e piccoli crateri con ripide scarpate

Le stereocoppie IKONOS II appartengono alla categoria commerciale Standard Stereo Products e verranno di seguito indicate come stereocoppia Ovest (Figura 1) ed Est (Figura 3); sono state acquisite il 13/11/2000, quindi hanno le stesse caratteristiche di illuminazione. La risoluzione è di 0.96 m, ma sono ricampionate ad 1 m (risoluzione nominale). Il ricoprimento per ogni stereocoppia è pressoché totale e l'area acquisita ha una dimensione di 13.5 x 19.5 km.

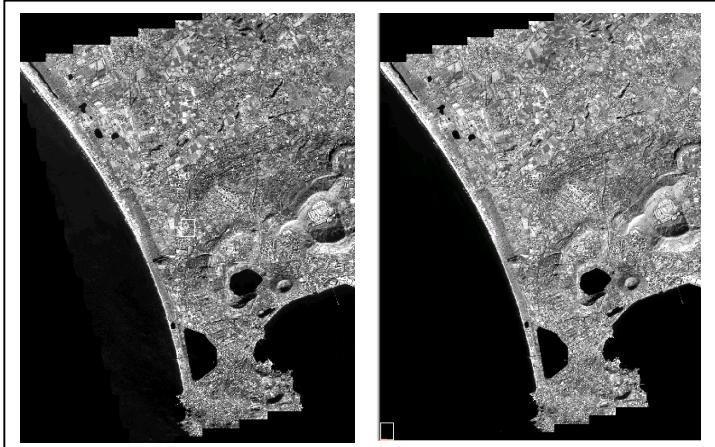


Figura 1 – La stereocoppia IKONOS Ovest

## Stereocoppia IKONOS II Ovest

Le misure GPS per la stima delle coordinate dei Ground Control Point (GCP) sono state effettuate mediante rilievi rapido-statici (campionamento: 5 s, durata delle sessioni: 15 min) con ricevitori geodetici a doppia frequenza, utilizzando i dati delle stazioni permanenti della rete pubblica italiana più vicina all'area di studio (LATI e TITO), localizzate a Latina (gestita dall'Area di Geodesia e Geomatica-Università di Roma "La Sapienza") e a Tito (Potenza) (gestita dall'Agenzia Spaziale Italiana); è da sottolineare che queste stazioni sono distanti fino a 200 km dall'area di studio.

Complessivamente sono stati rilevati 9 GCP, conseguendo precisioni medie planimetriche dell'ordine di 20 cm ed altimetriche dell'ordine di 30 cm.



Figura 2 – Il rilievo GPS cinematico

Il DSM è stato estratto utilizzando quindi 9 GCP ed inserendo manualmente 20 Tie Point (TP) per migliorare il matching automatico tra punti corrispondenti.

La sua validazione si è basata sulla determinazione di un significativo numero di punti ben distribuiti in tutta l'area mediante un rilievo GPS cinematico, eseguito lungo alcune strade. È stato definito un percorso di circa 90 km (Figura 2) che attraversa zone morfologicamente diverse.

Il rilievo GPS cinematico è stato effettuato mediante due ricevitori mobili di classe geodetica a doppia frequenza; sono stati utilizzati in tutto 3 ricevitori GPS, 2 come rover, collocati tramite supporti magnetici sul tetto di un'automobile, ed uno come master. L'antenna master è stata installata in una posizione centrale rispetto alla zona di studio, così che la sua distanza dall'automobile non superasse i 20 km. La disponibilità di due ricevitori rover posizionati a distanza nota permette di valutare l'accuratezza della posizione media delle 2 antenne ad ogni epoca.

Quindi, una volta estratto il DSM, ne è stata valutata la qualità calcolando la differenza tra le quote del DSM e quelle dei punti rilevati (posizioni medie delle due antenne GPS - 2691 acquisizioni); tenendo in conto la precisione delle posizioni GPS, si è ricavata un'indicazione sull'accuratezza globale del DSM, pari a circa 1.9 m.

Si deve sottolineare che il valore di accuratezza stimato è stato ottenuto dopo avere eliminato diversi outlier, in particolare concentrati sui bordi del DSM, caratterizzati da distorsioni considerevoli (superiori a qualche decina di metri), tramite la consueta procedura applicata ai residui normalizzati  $w_i$ :

$$|w_i| = \frac{|v_i|}{\sigma_v} < 3 \quad [1]$$

dove è  $v_i$  l' $i$ -esimo scarto; la procedura è ovviamente iterativa dal momento che  $\sigma_v$  dipende dagli scarti accettati e cambia durante l'eliminazione degli outlier.

Per valutare la dipendenza dell'accuratezza dalla morfologia e dal tipo di copertura, il DSM è stato confrontato localmente con un modello digitale del terreno (DEM) (1.5 m l'accuratezza media in altimetria) estratto da una cartografia numerica in scala 1:5000; sono state poi selezionate quattro tipi di zone diverse: terreni agricoli e laghi (accuratezza intrinseca), zone residenziali e crateri vulcanici con e senza boschi. I risultati mostrano che l'accuratezza decresce notevolmente nelle aree residenziali e vulcaniche rispetto alle zone agricole ed ai laghi; relativamente a quest'ultimo aspetto, sui laghi si verificano comunque effetti sistematici significativi dovuti a problemi di correlazione durante il matching automatico delle immagini (Tabelle 1 e 2).

Statistiche	Strade
Sqm (m)	1.8
Media (m)	-0.6
Rms (m)	1.9
Mediana (m)	-0.7
S(mediana) (m)	1.5
Asimmetria	0.1

Statistiche	Terreno agricolo	Zone urbane	Lago	Cratere vulcanico
Sqm (m)	0.6	3.3	1.2	11.4
Media (m)	1.6	5.1	-1.5	2.5
Rms (m)	1.8	6.1	2.7	11.7
Mediana (m)	1.6	4.4	-1.7	-0.1
S(mediana) (m)	0.7	2.8	0.0	0.0
Asimmetria	0.0	0.2	0.2	0.2

Tabella 1 – Accuratezza intrinseca Tabella 2 – Accuratezza in funzione della morfologia del terreno

I DSM estratti sono stati classificati secondo il criterio (Tabella 3) proposto dal Gruppo di Lavoro DTM e Ortofoto del Comitato Tecnico di Coordinamento dell'Intesa Stato-Regioni-Enti Locali sui sistemi informativi geografici sotto la direzione di O. Köebel (Köebel, 2001).

Livello di qualità	Accuratezza intrinseca	Principali applicazioni
Level 0	10.0 m	1:10000, 1:5000 ortofoto (da immagini satellitari)
Level 1	5.0 m	1:10000 ortofoto
Level 2	2.0 m	1:5000, 1:10000 ortofoto
Level 3	1.0 m	1:2000, 1:5000 ortofoto
Level 4	0.3 m	1:1000, 1:500 ortofoto
Level 5	0.15 m	1:1000, 1:500 ortofoto

Tabella 3 - Proposta di classificazione di DEM/DSM (Köebel, 2001)

Sebbene l'accuratezza intrinseca sia compresa tra 1-2 m (Livello 2-3), l'accuratezza sulle strade è di circa 2-3 m (Livello 1-2).

## Stereocoppia IKONOS II Est

Anche per questa stereocoppia sono state determinate le coordinate di 24 GCP (Figura 7) mediante rilievi GPS rapido-statici (campionamento: 5 s, durata delle sessioni: 15 min) con ricevitori geodetici a doppia frequenza, appoggiati a due stazioni permanenti; in questo caso la stazione di Roma MOSE (gestita dall'Area di Geodesia e Geomatica-Università di Roma "La Sapienza"), distante circa 150 km è stata utilizzata al posto di quella di TITO.

Sono stati rilevati 20 GCP con precisioni medie planimetriche ed altimetriche dello stesso ordine di quelle della sperimentazione precedente.

Il DSM è stato generato con 24 GCP (4 GCP appartengono al gruppo di quelli utilizzati nel processamento della stereocoppia Ovest), ed inserendo manualmente 20 TP.

E' stato quindi effettuato un primo confronto con le quote della stessa traccia GPS cinematica utilizzata per il test precedente; dopo aver eliminato gli outlier e gli scarti errati dovuti agli effetti di bordo, la validazione è stata eseguita sulla base di 2123 acquisizioni.

Complessivamente i risultati sono simili (di poco migliori) a quelli ottenuti con la stereocoppia Ovest; non si evidenzia un'accuratezza maggiore passando da 9 a 24 GCP.

Si deve sottolineare la presenza di errori inaccettabili, dell'ordine di 100 m dovuti a problemi di correlazione durante il matching delle immagini nelle zone con elevate variazioni di quota (crateri vulcanici, scarpate) che causano differenti condizioni di illuminazione degli stessi particolari sulle due immagini. Questi errori possono essere contenuti inserendo manualmente diversi TP (alcune decine) in queste aree critiche.

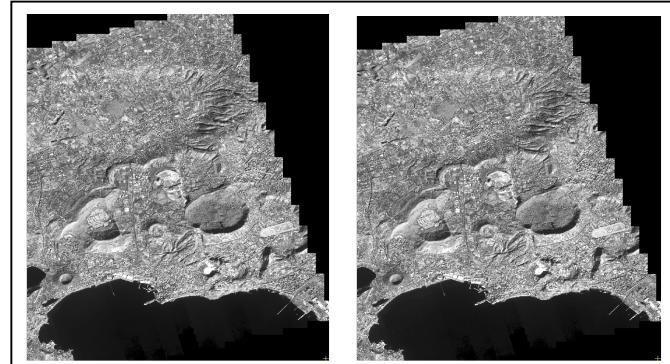


Figura 3 – La stereocoppia IKONOS II Est

Statistiche	Strade
<b>Sqm (m)</b>	1.6
<b>Media (m)</b>	0.9
<b>Rms (m)</b>	1.8
<b>Mediana (m)</b>	0.8
<b>S(mediana) (m)</b>	1.3
<b>Asimmetria</b>	0.1

Statistiche	Terreno agricolo	Zone urbane	Cratere vulcanico
<b>Sqm (m)</b>	1.0	5.4	4.3
<b>Media (m)</b>	0.8	8.2	2.7
<b>Rms (m)</b>	1.4	9.9	5.0
<b>Mediana (m)</b>	0.8	8.1	1.8
<b>S(mediana) (m)</b>	0.8	4.6	0.0
<b>Asimmetria</b>	0.0	0.0	0.2

Tabella 4 – Accuratezza intrinseca Tabella 5 – Accuratezza in funzione della morfologia del terreno

I valori relativi al confronto con la traccia cinematica sono in posizione intermedia fra quelli riferiti al terreno agricolo ed alla situazione media globale (accuratezza 5.9 m) (Tabelle 4 e 5); ciò non deve sorprendere, in quanto, sebbene le strade siano delle superfici ben definite, l'accuratezza delle loro ricostruzione altimetrica può essere influenzata dalla morfologia complessa delle zone che esse attraversano (e.g. zone residenziali e crateri vulcanici).

## Risultati EROS A

L'area in questione interessa i comuni di Guidonia, Tivoli e Mentana che si trovano ad est della città di Roma ed ha un'estensione di circa 12.5x17 km (Figura 4).

La stereocoppia appartiene alla categoria commerciale 1A, perciò le immagini sono solo radiometricamente corrette; è stata acquisita il 06/07/2002 e la risoluzione geometrica a terra del pixel è pari a 2.4 m (nominale 1.8 m). Il ricoprimento è pressoché totale.

Sono state determinate le coordinate di 23 GCP tramite un rilievo GPS in modalità Real Time Kinematic (RTK), rispetto alla stazione permanente M0SE, posizionata solamente a circa 25 km da Guidonia.

Le precisioni ottenute sono state dell'ordine di 10-20 cm sia in planimetria che in altimetria.

Per valutare l'influenza del numero di GCP sulla qualità del DSM, in questa sperimentazione, sono stati estratti 2 DSM, rispettivamente con 11 GCP e 10 TP (DSM 1) e con 18 GCP e 10 TP (DSM 2)<sup>1</sup>.

Innanzitutto è bene evidenziare che risultati decisamente scadenti (errori di alcune decine di metri) sono stati ottenuti sul 25% dell'area coperta dalla stereocoppia (parte settentrionale), principalmente per problemi di correlazione dovuti alle nubi; quest'area è stata esclusa da tutte le analisi successive.

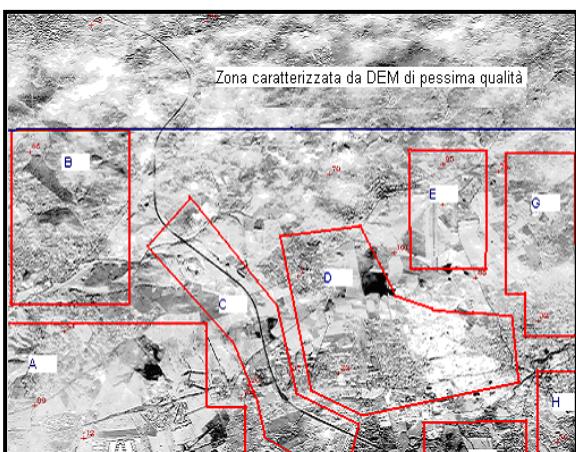


Figura 5 – Aree a diverso uso del suolo

Si deve sottolineare che il numero di GCP può influenzare i risultati, infatti il DSM 1 risulta notevolmente più accurato del DSM 2 (Figura 5), specialmente nelle zone di bordo (B, G, H). Infine i migliori risultati si sono ottenuti nelle aree abbastanza omogenee e caratterizzate da terreno agricolo (C, E), dove entrambe i DSM mostrano risultati simili (Tabella 6).

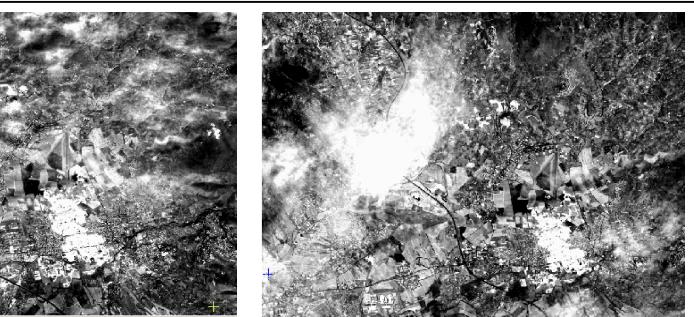


Figura 4 – La stereocoppia EROS A

In questo caso, considerati i risultati di letteratura (Toutin, 2004a) per i DSM ottenuti da immagini EROS A (LE68 tra 10 e 20 m) e la mancanza di carte più accurate, è stato eseguito un confronto preliminare con un DEM prodotto da una carta in scala 1:25000 (accuratezza altimetrica di 5-10 m) considerando 8 zone (da A ad H) con morfologie e coperture del suolo diverse (pianura, collina, zone residenziali e cave di Travertino).

Si deve sottolineare che il numero di GCP può influenzare i risultati, infatti il DSM 1 risulta notevolmente più accurato del DSM 2 (Figura 5), specialmente nelle zone di bordo (B, G, H). Infine i migliori risultati si sono ottenuti nelle aree abbastanza omogenee e caratterizzate da terreno agricolo (C, E), dove entrambe i DSM mostrano risultati simili (Tabella 6).

Rms (m)	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H
<b>DSM 1</b>	5.4	7.8	5.2	2.6	3.8	7.3	4.4	13.5
<b>DSM 2</b>	7.9	22.9	3.3	6.0	5.0	2.1	17.1	23.4

Tabella 6 - Risultati sulle zone di diversa tipologia dei 2 DSM

L'accuratezza del DSM 1 è stata infine confrontata anche con le quote di un significativo numero di punti omogeneamente distribuiti sull'intera area, le cui coordinate sono state rilevate mediante un rilievo GPS in modalità cinematica (55 km, campionamento: 1 s, velocità media 40-50 km/h).

Dopo aver eliminato gli outlier delle zone di bordo sono state eseguite le stesse analisi statistiche delle prove precedenti su 310 punti GPS, che hanno mostrato asimmetria della distribuzione di frequenza dei residui con un'accuratezza media (RMS) di 6.0 m.

<sup>1</sup> I 18 GCP del test #1 contengono gli 11 del test #2

## **Conclusioni e prospettive future**

Lo studio presentato sulla valutazione della qualità di DSM ottenuti da stereocoppie ad alta risoluzione (IKONOS II ed EROS A) ha mostrato la significativa potenzialità di queste immagini: sono infatti conseguibili accuratezze intrinseche che variano da 1-2 m (IKONOS II) a 5-6 m (EROS A), purché l'immagine sia elaborata con modelli rigorosi e sia prestata un'attenzione particolare agli effetti di bordo ed ai possibili problemi di correlazione nel matching automatico delle immagini.

Questo tipo di problemi sorge per mancanza di contrasto, per le diverse condizioni di illuminazione degli stessi oggetti sulle due immagini o per le significative differenze delle dimensioni del pixel a terra a causa dell'acquisizione asincrona (per il satellite EROS A); ciò può accadere soprattutto in aree dalla morfologia complessa e su specchi d'acqua (i laghi); gli errori di correlazione possono essere mitigati inserendo molti TP. L'accuratezza dipendente fortemente anche dalla morfologia e dalla copertura del suolo.

In particolare, per IKONOS II, l'accuratezza del DSM è indipendente dal numero di GCP, purché siano disponibili almeno 10 GCP omogeneamente distribuiti; in conformità con (Toutin, 2004b); l'accuratezza intrinseca (1-2 m) rientra nel livello di qualità 2-3 secondo (Köebl, 2001), mentre l'accuratezza media lungo le strade è solamente di poco peggiore (2-3 m), appartenente quindi al livello 1-2.

A riguardo del DSM estratto dalla stereocoppia EROS A, è stata ottenuta un'accuratezza intrinseca (5-6 m) di livello 0-1 ed un'accuratezza media lungo strade dello stesso ordine di grandezza (6-7 m). In questo caso l'accuratezza è fortemente condizionata dal numero di GCP, dagli effetti di bordo e dalla morfologia del terreno.

Sono attualmente in corso sperimentazioni relative all'estrazione di DSM da stereocoppie Quickbird.

Il presente lavoro è stato presentato in forma estesa a EARSeL Workshop 3D-Remote Sensing, Porto (Portogallo), 10-11 giugno 2005.

## **Ringraziamenti**

Si ringraziano la Sysdeco Italia s.r.l. e la Informatica per il Territorio s.r.l. per aver fornito le stereocoppie IKONOS II ed EROS A.

Lavoro finanziato dal progetto MIUR COFIN 2003 “Tecnologie innovative per la previsione, il controllo e la mitigazione dell'impatto delle emergenze ambientali” (Coordinatore S. Dequal).

## **Bibliografia**

- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Mazzoni A. (2005), “DSM extraction from IKONOS and EROS A stereo imagery: methodology, accuracy and problems”, *EARSeL Workshop 3D-Remote Sensing, Porto (Portugal), 10-11 June*
- Baiocchi V., Calcagni L., Crespi M., De Vendictis L., Iannucci G. (2004), “Estrazione di DEM da stereocoppie Ikonos: metodologia, problemi e valutazione della qualità dei prodotti”, *8<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA 2004*
- Boccardo et al. (2004), “Valutazione di DSM derivati da immagini stereoscopiche mediante software commerciali”, *8<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA 2004*
- Fraser C.S., Baltsavias E., Gruen A. (2002), “Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction”, *Phot. Eng. and Remote Sensing*, 56(3):177-194.
- Kölbl O. (2001), “Technical Specifications for the Elaboration of Digital Elevation Models”, EPFL, Version 16l, final Group Version, of April 29 2001 – Online:www.intesagis.it
- Toutin T. (2004b), “DTM Generation from IKONOS In-track Stereo Images using 3D physical model”, *Phot. Eng. and Remote Sensing* 70: 695-702
- Toutin T. (2000), *Elevation modeling from satellite data*, Enc. of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation (R. A. Meyers, ed.), vol. 10, J. Wiley & Sons, Ltd.,