

IMPIEGO DI COPPIE STEREOSCOPICHE IKONOS PER LA PRODUZIONE DI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

Mauro LO BRUTTO, Daniela PENNACCHIO

Dipartimento di Rappresentazione - Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo
lobrutto@unipa.it

Riassunto

Nel presente lavoro vengono riportati i risultati ottenuti per la verifica di modelli digitali di superficie (*Digital Surface Model*, DSM) ottenuti da due coppie stereoscopiche pancromatiche Ikonos 2 relative alla zona ovest della città di Napoli. Per il loro orientamento ed il successivo calcolo del DSM ci si è avvalsi di due software commerciali: PCI Geomatica ver. 10.0 e Socet Set ver. 5.3. La verifica è stata effettuata in attraverso il confronto tra i DSM ottenuti e i punti quotati della cartografia tecnica provinciale (CTP) in scala 1:5000. Inoltre, i DSM sono stati confrontati, per alcune zone campione, con un modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model*, DTM) ottenuto dalle curve di livello e dai punti quotati della CTP. I risultati conseguiti hanno mostrato una accuratezza dei DSM prodotti valutabile intorno ai $3 \div 4$ m.

Abstract

In this paper an investigation of the accuracy of Digital Surface Model (DSM) extraction from two satellite stereo-pair images (pan mode) Ikonos 2 is reported. The satellite stereo pair are relative to the western area of Naples. For the stereo pair orientation and digital surface model generation the software PCI Geomatica ver. 10.0 and Socet Set ver. 5.3 were used. The DSM is compared to spots elevations of 1:5000 topographic map and, for some areas test, to a Digital Terrain Model (DTM) obtained by cartographic way. An accuracy of about $3 \div 4$ m for the DSMs was archived.

Introduzione

La recente disponibilità di coppie stereoscopiche da immagini satellitari (SPOT, Eros, Ikonos e QuickBird) ha consentito, negli ultimi tempi, di ottenere modelli digitali di superficie (*Digital Surface Model*, DSM) utilizzando tecniche automatiche di autocorrelazione tipiche della fotogrammetria digitale. In questo modo, è possibile ricavare rappresentazioni altimetriche del territorio anche per zone piuttosto estese e con tempi di realizzazione più ridotti rispetto alle procedure di tipo fotogrammetrico.

In questo lavoro vengono presentati i risultati ottenuti per verificare l'impiego di stereocoppie Ikonos 2 per la produzione di modelli digitali di superficie. In particolare, sono state impiegate due coppie riprese nel Novembre 2000 e relative alla zona dei Campi Flegrei (Napoli) già utilizzate per precedenti sperimentazioni (Baiocchi et al., 2004 e 2005). Le operazioni di orientamento e di calcolo del DSM sono state realizzate sia con il software Geomatica ver. 10.0 che con il software Socet Set ver. 5.3. I punti di appoggio (*Ground Control Point*, GCP) sono stati estratti dalla Cartografia Tecnica Provinciale (CTP), disponibile in formato numerico, della Provincia di Napoli in scala 1:5000.

La validità dei DSM estratti dalle immagini satellitari è stata verificata innanzitutto prendendo come riferimento i punti quotati della CTP, e, successivamente, considerando un modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model*, DTM) calcolato utilizzando le informazioni altimetriche fornite

dalla cartografia (curve di livello e punti quotati). Questo ultimo confronto è stato però limitato ad alcune zone campione.

Le stereocoppie Ikonos

La sperimentazione è stata condotta utilizzando due stereocoppie Ikonos 2 (prodotto *Standard Geometrically Corrected*) acquisite in modalità pancromatica, lungo la stessa orbita (*along-track*) e fornite ricampionate con una risoluzione geometrica di 1 metro e radiometrica di 11 bit. Le stereocoppie sono inoltre proiettate secondo una geometria pseudo-epipolare e le immagini risultano ruotate di 90° rispetto alla direzione Nord. Il ricoprimento, per ciascuna stereocoppia, è praticamente totale e ogni scena acquisita ha dimensioni pari a circa 13 km x 9 km.

Le stereocoppie sono entrambe relative all'area situata ad ovest della città di Napoli e parzialmente sovrapposte (figura 1). La prima coppia (denominata stereocoppia Est, figura 2b) include una piccola parte della città di Napoli, i comuni di Quarto, di Marano e di Pozzuoli, mentre la seconda (denominata stereocoppia Ovest, figura 2a) comprende parte dei comune di Pozzuoli, di Giugliano e di Quarto e il comune di Bacoli. Dal punto di vista morfologico, la zona è prevalentemente pianeggiante ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi crateri di origine vulcanica. E', inoltre, interessante evidenziare come la presenza di edifici e costruzioni sia distribuita, in maniera quasi omogenea, sull'intera zona. La variazione altimetrica del territorio considerato è compresa tra 0 e 460 metri s.l.m..

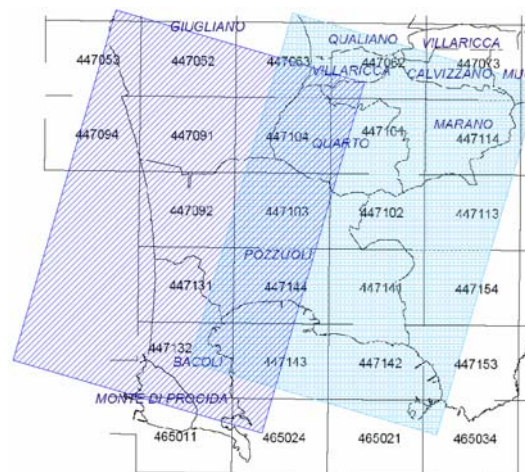


Figura 1 – Localizzazione delle stereocoppie Ikonos sul quadro di unione della CTP a scala 1:5000.

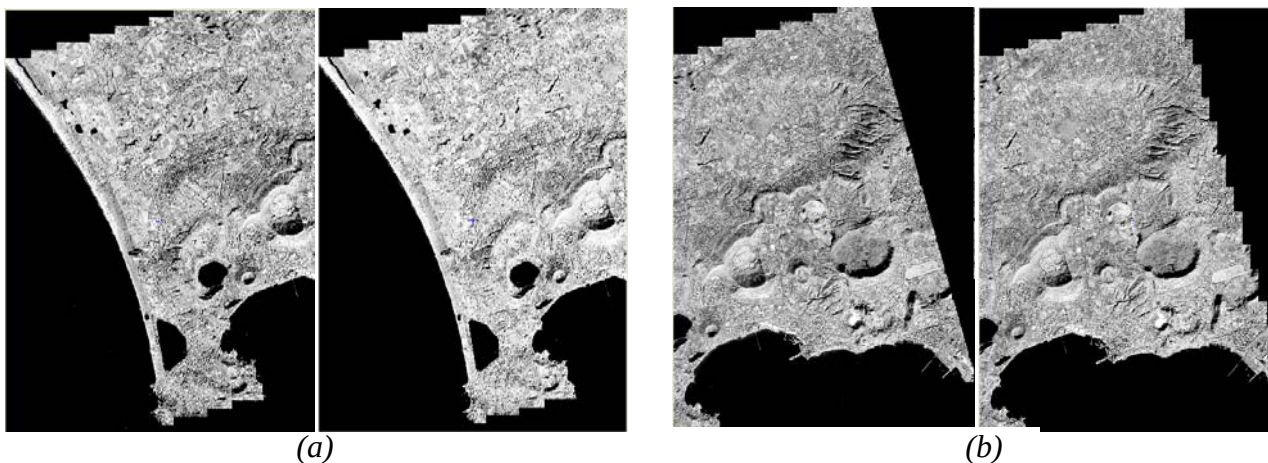


Figura 3 - Stereocoppia Ikonos Ovest (a) ed Est (b).

Procedure di orientamento

Per le procedure di orientamento sono stati utilizzati due software commerciali: PCI Geomatica (modulo OrthoEngine) ver. 10.0 e Socet Set ver. 5.3.

I GCP sono stati estratti dalla cartografia numerica della provincia di Napoli in scala 1:5000. Tale cartografia è redatta in coordinate Gauss-Boaga Roma40. Le operazioni di orientamento e del successivo calcolo del DSM, sono state invece condotte nel sistema di riferimento cartografico UTM-WGS84; si quindi resa necessaria la conversione dei punti individuati sulla cartografia adoperando il software Verto 2.0 dell'Istituto Geografico Militare, sia per quanto riguarda le

coordinate planimetriche sia per la trasformazione delle quote ortometriche in ellissoidiche. Quest'ultima è stata eseguita adottando il modello di geoida ITALGEO99 contenuto nel software Verto 2.0.

L'orientamento delle stereocoppie con il modulo OrthoEngine è stato eseguito con il modello parametrico sviluppato da Th. Toutin del *Canada Center for Remote Sensing*, che, oltre ad utilizzare le informazioni tratte dal file dei metadata fornito unitamente alle immagini, prende in analisi la complessa geometria della presa correggendo così le distorsioni dovute alla piattaforma, al sensore ed alla rotazione terrestre che si verificano durante la ripresa della scena. Per la stereocoppia Est sono stati individuati 14 GCP e 12 *Tie Point* (TP), mentre per quella Ovest sono stati individuati 11 GCP e 10 TP. Tutti i TP sono stati scelti manualmente e distribuiti uniformemente sulla intera superficie delle immagini satellitari. Il calcolo dell'orientamento ha consentito di determinare l'errore planimetrico per le due coppie, che è risultato essere sempre inferiore al metro e, rispettivamente, pari a 0.74 m per la stereocoppia Est e 0.93 m per quella Ovest (figura 3). Il software purtroppo non fornisce invece informazioni sugli errori altimetrici dei GCP.

	<i>Stereocoppia EST</i>	<i>Stereocoppia OVEST</i>
	<i>14 GCP</i>	<i>11 GCP</i>
RMS X	<i>0.76</i>	<i>0.54</i>
RMS Y	<i>0.54</i>	<i>0.50</i>
RMS XY	<i>0.93</i>	<i>0.74</i>

Figura 3 – Risultati dell'orientamento (in metri) eseguito con OrthoEngine.

Per quanto riguarda l'impiego del software Socet Set ver. 5.3, le immagini sono state orientate per mezzo della procedura *Multi-Sensor Triangulation* (MST) che consente di ridefinire l'orientamento delle immagini attraverso il calcolo di alcuni parametri indicati genericamente con le sigle *CL0*, *CS0*, *CLL*, *CSL*, *CLS* e *CSS*. In questo caso, sono stati impiegati 10 GCP per la stereocoppia Est e 13 GCP per la Ovest; in entrambi i casi sono stati inseriti 9 TP. I risultati conseguiti per l'orientamento hanno evidenziato valori di RMS_{XYZ} pari a 1.63 m e 1.33 m rispettivamente per la stereocoppia Est ed Ovest (Figura 4).

	<i>Stereocoppia EST</i>	<i>Stereocoppia OVEST</i>
	<i>10 GCP</i>	<i>11 GCP</i>
RMS X	<i>0.88</i>	<i>0.67</i>
RMS Y	<i>1.07</i>	<i>0.63</i>
RMS Z	<i>0.86</i>	<i>0.97</i>
RMS XYZ	<i>1.63</i>	<i>1.33</i>

Figura 4 – Risultati dell'orientamento (in metri) eseguito con Socet Set.

Estrazione dei DSM e sua validazione

Da ciascuna stereocoppia, utilizzando sia il software OrthoEngine che il software Socet Set, è stato estratto un DSM relativo alla zona centrale, di dimensioni pari a circa 5 km x 6 km, con passo di campionamento pari a 10 metri.

A tal proposito, è interessante notare come i due software usino metodologie differenti per il calcolo del DSM. In particolare, il software OrthoEngine prevede che al momento di importare le immagini, seguendo la procedura dell'orientamento parametrico, queste vengano ricampionate e ri-orientate secondo la direzione Nord. Successivamente al loro orientamento è necessario ricalcolare le immagini epipolari da utilizzare poi per l'estrazione automatica del DSM.

Viceversa, con il software Socet Set è possibile utilizzare direttamente le immagini pseudo-epipolari fornite dalla *Space Imaging* e da queste, eseguite le procedure di orientamento, calcolare il

DSM. In questo caso, il calcolo è stato effettuato utilizzando le procedure previste nel modulo *Automatic Terrain Extraction (ATE)* adoperando la strategia di calcolo definita *Adaptive*.

Per tutti i DSM calcolati non è stata eseguita nessuna operazione di editing manuale per correggere eventuali errori prodotti durante la fase di autocorrelazione.

Ogni modello così ottenuto è stato controllato tramite due tipologie di comparazione; un primo confronto è stato effettuato prendendo come riferimento i punti quotati della CTP e verificando la corrispondente quota calcolata nel DSM; mentre un secondo confronto è stato eseguito con un modello digitale del terreno calcolato dalle curve di livello e dai punti quotati della cartografia. Anche in questo caso, come effettuato precedentemente per i GCP, tutte le informazioni cartografiche sono state preventivamente convertite nel sistema cartografico UTM-WGS84 con quote ellissoidiche.

I due differenti metodi di verifica presentano entrambi dei diversi vantaggi e limiti. L'impiego dei punti quotati della cartografia consente infatti di eseguire un controllo su punti corrispondenti al piano campagna di precisione assegnata in funzione della scala della carta utilizzata (nel nostro caso 1:5000); questa procedura non tiene però in considerazione il fatto che essendo la maglia del DSM di 10 m, quando il punto quotato non corrisponde esattamente ad un nodo della griglia la quota del DSM viene estratta attraverso una semplice interpolazione lineare dai nodi più vicini. In alcuni casi (es. zone densamente urbanizzate) questa situazione può non consentire una corretta operazione di verifica. Nel caso, invece, dell'utilizzo del DTM interpolato dai dati cartografici questo viene ottenuto dalle quote che si riferiscono soltanto al piano campagna e non prendono in considerazione i numerosi elementi (antropici e non) che sono invece inclusi nel DSM ottenuto con tecniche di autocorrelazione delle immagini satellitari. Per questo motivo, si è preferito non effettuare un confronto complessivo sull'intera superficie dei DSM ma limitarlo soltanto a due porzioni del territorio sostanzialmente prive di edifici e di folta vegetazione.

Relativamente alla prima procedura di confronto si sono calcolate le differenze tra le quote dei DSM e quelle dei punti quotati (figura 5); gli scarti ottenuti sono stati utilizzati per calcolare i parametri statistici più significativi (valore minimo, massimo, media e s.q.m.) così come riportato nella seguente figura 6.

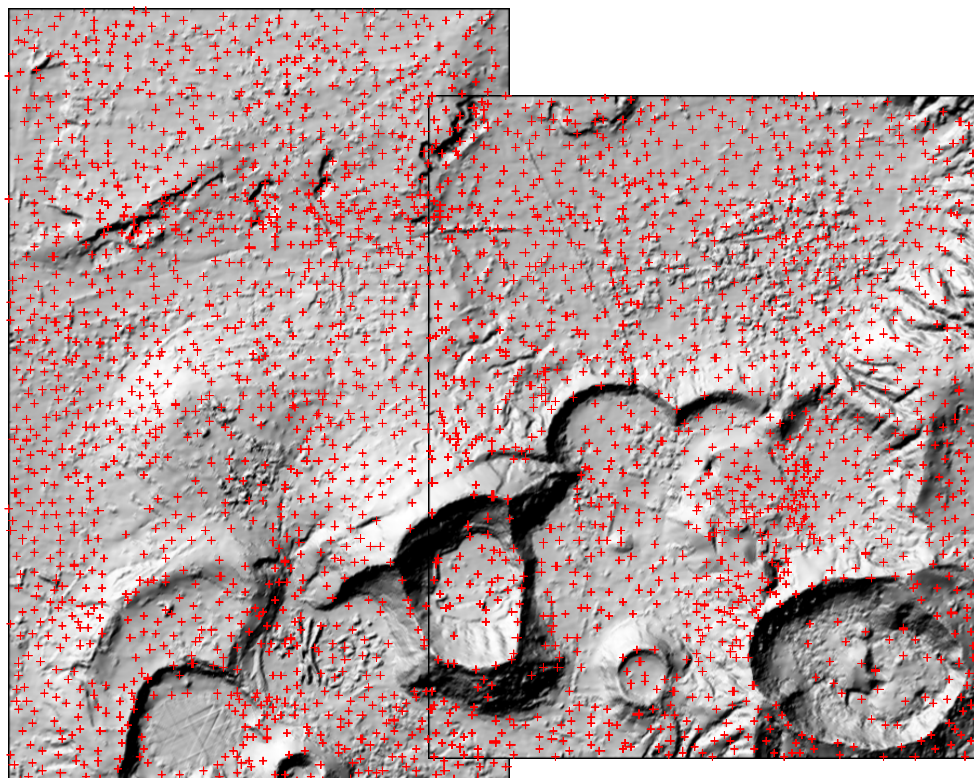


Figura 5 – Distribuzione dei punti quotati sui DSM realizzati.

	<i>OrthoEngine</i>		<i>Socet Set</i>	
	<i>Stereocoppia EST</i>	<i>Stereocoppia OVEST</i>	<i>Stereocoppia EST</i>	<i>Stereocoppia OVEST</i>
N. di valori	1570	1404	1570	1404
Minimo	-37.70	-39.16	-30.40	-31.40
Massimo	21.49	31.74	17.37	17.72
Media	-0.50	-0.23	-1.84	-1.86
Sqm	3.03	4.24	2.73	3.63

Figura 6 - Parametri statistici (in metri) ottenuti dal confronto dei DSM con i punti quotati.

I valori degli s.q.m. sono risultati pressoché dello stesso ordine di grandezza ($3 \div 4$ m) per i DSM realizzati dai due software. Inoltre, per i DSM realizzati con il software Socet Set si notano dei valori della media piuttosto alti; ciò fa presumere la presenza di un errore sistematico. Allo stato attuale della ricerca, non si è indagato su questo aspetto.

Per tale motivo, la seconda tipologia di confronto è stata realizzata utilizzando soltanto il DSM ottenuto con OrthoEngine. Il DTM cartografico preso come riferimento, è stato elaborato utilizzando il software Surfer 8.0 con passo di campionamento pari a 10 metri e come metodo di interpolazione il kriging. Tale DTM è stato realizzato per l'intera superficie delle immagini satellitari, ma, come già detto, il confronto è stato limitato a due zone campione scelte selezionando aree meno antropizzate, quali l'area del Monte Nuovo (nei pressi del Lago d'Averno) e una zona relativa al comune di Quarto (NA) dal carattere propriamente rurale (Figura 7). I risultati del confronto sono riportati nella figura 8.

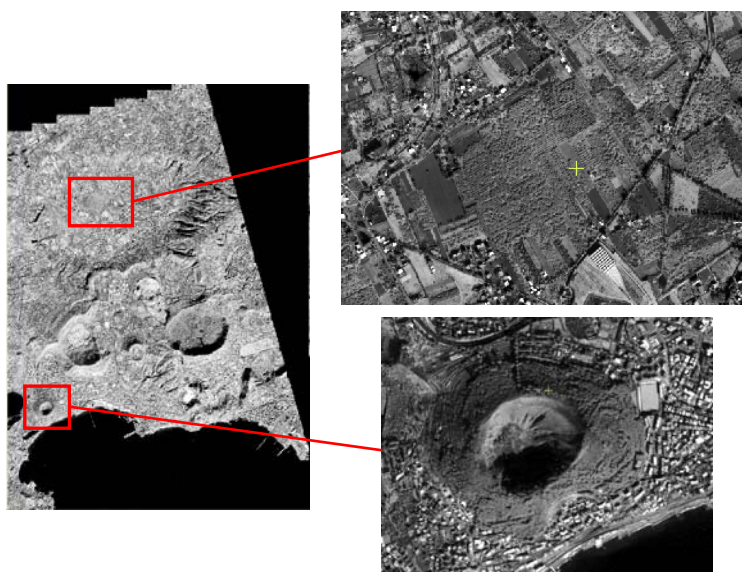


Figura 7 – Zone campione per le quali è stato realizzato un confronto DTM-DSM.

	<i>Monte Nuovo</i>	<i>Terreno agricolo</i>
N. di valori	15494	15773
Minimo	-42.80	-6.16
Massimo	73.65	7.44
Media	0.46	-1.69
Sqm	5.67	1.42

Figura 8 – Parametri statistici (in metri) del confronto tra DTM-DSM.

Conclusioni

In questo lavoro sono riportati i risultati relativi all'estrazione di DSM da due coppie stereoscopiche Ikonos 2 e del loro confronto con le informazioni altimetriche desunte dalla CTP in scala 1:5000.

In particolare, sono stati utilizzati due software commerciali: PCI Geomatica (modulo OrthoEngine) ver 10.0 e Socet Set ver. 5.3 per orientare le coppie e calcolare i DSM.

I risultati ottenuti confrontando i DSM con i punti quotati della cartografia hanno messo in evidenza accuratèzze in quota nell'ordine dei 3÷4 m che fanno sicuramente ipotizzare un loro possibile utilizzo per procedure di ortoproiezione. Rimangono comunque i problemi legati alla presenza di numerosi errori di elevata entità (anche nell'ordine dei ± 30 m) che si presentano frequentemente in tutti i processi di autocorrelazione (es. con fotogrammi aerei) e che indicano la necessità di una fase di controllo e di editing manuale dei DSM calcolati.

Il confronto con i DTM calcolati dalle curve di livello e dai punti quotati della cartografia, per due zone campione, ha, inoltre, evidenziato il differente grado di accuratezza ottenuto in funzione della tipologia della zona considerata per l'autocorrelazione.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Sysdeco Italia s.r.l. e in particolare il Dott. Filiberti per aver gentilmente messo a disposizione le stereocoppie Ikonos utilizzate nel presente lavoro.

Bibliografia

Ager T.P. (2003), Evaluation of the geometric accuracy of Ikonos imagery, *SPIE 2003 AeroSense Conference, 21-25 April 2003, Orlando, Florida*.

Baiocchi V., Calcagni L., De Vendictis L., Crespi M., Iannucci G. (2004), Estrazione di DEM da stereocoppie Ikonos: metodologia, problemi e valutazione della qualità dei prodotti, *Atti 8ª Conferenza Nazionale A.S.I.T.A., Roma, 14-17 Dicembre 2004, 205-210*.

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Mazzoni A., Salerni A. (2005), DSM estratti da stereocoppie Ikonos ed EROS A: accuratezza media e sua dipendenza dalla morfologia e dalla copertura del suolo, *Atti 9ª Conferenza Nazionale A.S.I.T.A., Catania, 15-18 Novembre 2005, 175-180*.

Borgogno Mondino E., Bellone T., Giulio Tonolo F., Lingua A. (2004), Generazione di DSM da immagini satellitari stereoscopiche: primi risultati e validazioni, *Bollettino SIFET n.º3, anno 2004, 157-169*.

Eisenbeiss H., Baltsavias E., Pateraki M., Zhang L. (2004) Potential of Ikonos and Quickbird imagery for accurate 3D point positioning, orthoimage and DSM generation. *XX Congresso ISPRS, 12-23 Luglio, Istanbul, In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 35, Part B7, 1250-1256*.

Pellegrinelli A., Perfetti N., Russo P. (2005), Un'applicazione DEM da stereocoppia Ikonos, *Atti del Convegno Nazionale SIFET, Integrazione tra le tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali, Palermo, 29,30 Giugno-01 Luglio 2005, CD ROM*.

Poon J., Fraser C.S., Zhang C., Zhang L., Gruen A. (2005), Quality assessment of digital surface models generated from Ikonos imagery, *The Photogrammetric Record* 20 (110), 162-171.

Poon J., Fraser C.S., Zhang C., Gruen A., Zhang L., (2005), Accuracy evaluation of terrain modelling from Ikonos Stereo imagery, *Proceedings ISPRS Workshop High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, IAPRS Vol. 36, Part I/W3, Hannover, 17-20 Maggio 2005*.

Poon J., Fraser C. (2006), High-resolution Satellite Imaging for Digital Surface Models, *WG I/5 I/6I Workshop on "Topographic Mapping from Space (with Special Emphasis on Small Satellites)", Ankara, Turkey, 14-16 Febbraio 2006*.