

Valutazione di accuratezza e confronto dei DSM SRTM e ASTER

Mattia Crespi (*), Gabriele Colosimo (*), Laura De Vendictis(***), Karsten Jacobsen(**)

(*)DITS – Area di Geodesia e Geomatica – Sapienza Università di Roma, via Eudossiana, 18 – 00184 Rome, Italy,
<mattia.crespi,gabriele.colosimo>@uniroma1.it

(**) Institute of Photogrammetry and Geoinformation -Leibniz University-Hannover, Germany
<jacobsen@ipi.uni-hannover.de>

(***)Telespazio SPA <guest517.devendictis@telespazio.com>

Riassunto

I Modelli Digitali della Superficie (DSM) hanno acquisito molta importanza nella produzione di mappe topografiche, grazie al loro utilizzo per la generazione di ortofoto, rilevamento di cambiamenti sul territorio, aggiornamento dei database GIS, estrazione e ricostruzione di caratteristiche cartografiche 3D. Durante gli ultimi anni sono stati distribuiti e continuamente aggiornati DSM derivanti da sensori satellitari, quali SRTM (Space Shuttle Radar Topography Mission) e ASTER (Advance Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

SRTM DSM è rilasciato in tre differenti livelli di accuratezza (Finished, DTED e CGIAR-CSI SRTM) e copre approssimativamente l'intero globo con una risoluzione di 3''x 3''.

ASTER DSM è generato (solo su richiesta) usando bande 3N (nadir viewing) e 3B (backward viewing) di immagini ASTER (level 1A) acquisite dal sensore dell'infrarosso vicino (VNRI) ad una risoluzione di 30 m.

Lo scopo del lavoro è una valutazione di tali prodotti basata su un confronto svolto nell'area dei Colli Albani con due DSM di riferimento ottenuti, rispettivamente, da un rilievo LIDAR e da una stereo coppia del satellite CARTOSAT-1, al fine di valutarne sia l'accuratezza media che la loro dipendenza dalla morfologia e dalla destinazione d'uso del territorio. L'analisi di tutti i risultati sarà mostrata e discussa in dettaglio nell'articolo.

Abstract

Over the last few years DSMs derived from satellite sensors, as SRTM (Space Shuttle Radar Topography Mission) and ASTER (Advance Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer) DSMs, have been issued and continuously updated. The SRTM DSM is delivered in three different versions (Finished, DTED, CGIAR), with different nominal accuracy covering a large part of the world at a resolution of 3'' x 3''. The goal of the work is to evaluate these products by a comparison carried out over Colli Albani area in Italy with two reference DSMs obtained by a LIDAR survey and by a CARTOSAT-1 stereopair, in order to assess both mean accuracy and its dependency on morphology and land cover types.

Introduzione

In linea generale esistono diverse possibilità per l'acquisizione dei dati necessari alla produzione di un DSM, a partire dalle tecniche di fotogrammetria classica, passando per l'utilizzo dell'interferometria SAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), fino ad arrivare all'impiego di moderni sistemi quali il LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging).

Allo stato attuale esistono e sono disponibili due modelli digitali che coprono la quasi totalità del globo terrestre e sono stati ottenuti, rispettivamente, grazie alla missione SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e alle immagini stereo del satellite ASTER. Entrambi questi prodotti rappresentano una componente fondamentale per la conoscenza spaziale del territorio e valutare in

maniera approfondita la loro accuratezza e le loro caratteristiche si dimostra compito di grande importanza, essendo tali prodotti distribuiti a costi molto bassi (se non nulli)¹.

DSM SRTM

La missione Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), organizzata in partnership tra la NASA e la National Geospatial Intelligence Agency (NGA) nel mese di Febbraio del 2000, ha conseguito l'importantissimo risultato di realizzare un DSM su quasi tutta la superficie emersa della Terra; inoltre, essendo tali prodotti disponibili gratuitamente, vi devono essere necessità ben precise per impegnarsi nella generazione di nuovi modelli digitali utilizzando diverse fonti di dati spaziali, piuttosto che utilizzare quanto già di dominio pubblico.

I dati necessari per la generazione del DSM sono stati raccolti equipaggiando lo Space Shuttle con due antenne radar, entrambe con ricevitori a doppia banda (C-band e X-band), localizzate ad un'opportuna distanza tra loro. La tecnica utilizzata è quella dell'interferometria radar che consente, avendo a disposizione due immagini radar ad apertura sintetica acquisite da posizioni leggermente diverse, di ricavare la quota della superficie del terreno.

I prodotti ottenibili dalle due bande sono diversi in quanto la banda X consente risoluzioni leggermente maggiori per i DSM, ma non presenta la copertura globale della banda C. Per il territorio degli Stati Uniti i DSM SRTM sono a disposizione con risoluzione di 1 arcsec (30m), mentre al di fuori la risoluzione scende a 3 arcsec (90m). I DSM SRTM sono distribuiti in tre differenti versioni, a seconda del loro livello di raffinamento:

- Finished

Il lavoro di raffinamento ha provveduto alla rimozione di picchi e di depressioni, al riempimento di piccoli vuoti dovuti a mancanza di dati e alla migliore delineazione dei contorni dei corpi idrici. I dati del SRTM Finished sono dichiarati avere un'accuratezza in quota pari a 16 m (Linear Error al 90% di livello di confidenza- LE90)

- DTED

Per questo prodotto i picchi e le depressioni eccedenti di 100 metri la quota del terreno circostante sono stati identificati e rimossi; i piccoli vuoti riempiti interpolando le quote limitrofe, mentre vuoti più grandi sono stati lasciati nei dati. La quota dei mari è posta a 0. L'accuratezza assoluta in quota del SRTM DTED è significativamente migliore di 16 metri (LE90) (2)

- CGIAR

Questo prodotto è il frutto dell'elaborazione operata dal Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR) a partire dai dati originali contenenti regioni con completa mancanza di dati, in particolare in corrispondenza di corpi idrici. Per la rimozione di queste zone sono stati utilizzati differenti metodi di interpolazione a seconda della dimensione della zona e dei dati che si avevano a disposizione nelle immediate vicinanze. Studi precedenti (Jarvis et al., 2004) hanno dimostrato un'accuratezza in quota inferiore ai 5 metri nelle regioni sottoposte al procedimento di interpolazione (3).

ASTER DSM

Il DSM ASTER è stato ricavato utilizzando le bande 3N (nadir-viewing) e 3B (backward-viewing) di un'immagine ASTER Livello 1-A, acquisita dal sensore Visibile and Near Infrared sensor (VNIR). La generazione del DSM è basata su una procedura automatica di correlazione fra le immagini che permette di ottenere un modello digitale senza l'utilizzo di punti di controllo a terra. La spaziatura è di 30 metri e i larghi corpi idrici sono identificati e ridotti ad una quota comune; le poche aree in cui la correlazione non ha prodotto risultati rimangono nel prodotto finale senza essere modificate. L'accuratezza dichiarata è superiore ai 25 metri di RMSE_{xyz} (Root Mean Square Error).

¹ Al momento dell'esecuzione dei test non era ancora a disposizione il nuovo modello digitale rilasciato gratuitamente con copertura globale a partire dai dati del satellite ASTER (<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>)

DSM di riferimento e zona di analisi

La valutazione dell'accuratezza dei prodotti è stata effettuata nell'area dei Colli Albani, per la quale si avevano a disposizione due DSM: uno ottenuto in seguito ad un rilievo LIDAR, l'altro ricavato utilizzando una stereo coppia del satellite CARTOSAT-1.

Il DSM LIDAR è disponibile su un'area di soli 25 km² e presenta un'accuratezza di 25 cm; il DSM del satellite CARTOSAT-1 è stato ricavato da una stereo coppia acquisita sull'area di Castel Gandolfo il 18 Luglio del 2006; il prodotto è disposto in una griglia regolare di lato di 5 metri e presenta un'accuratezza in quota di 3 metri nelle zone aperte, mentre nelle zone urbane l'accuratezza scende ad un valore prossimo a 5 metri.

La zona del confronto è situata intorno ai laghi di Albano e Nemi e si presenta moderatamente coperta di vegetazione, con un'inclinazione del terreno mediamente inferiore ai 45°.

Al fine di analizzare l'influenza delle differenti destinazioni d'uso del territorio sull'accuratezza del modello digitale, l'analisi si è concentrata separatamente su tre zone: un'area aperta, un'area urbana, e un'area boschiva (Figura 1).

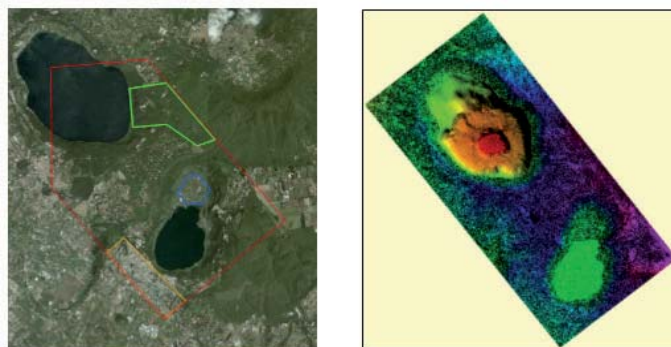


Figura 1 – Sulla sinistra rappresentazione della zona di confronto, con le differenti coperture del suolo (in arancione l'area urbana, in blu l'area aperta, in verde l'area boschiva), sulla destra il DSM ottenuto dal LIDAR.

Metodologia

Lo scopo del lavoro è quello di valutare l'accuratezza dei DSM ASTER e SRTM rispetto a DSM maggiormente accurati, al fine di comprendere potenzialità e limitazioni di questi prodotti per le differenti applicazioni.

L'accuratezza viene espressa attraverso lo scarto quadratico medio (RMSEh) delle differenze di quota tra i DSM da testare e i DSM assunti come riferimento; il confronto è stato effettuato sia valutando la differenza di quota per punti di coordinate fissate (confronto 2.5D), sia valutando la distanza euclidea fra le due superfici (confronto 3D). A partire dalla loro risoluzione originale i prodotti da testare sono stati interpolati nei nodi della griglia dei modelli di riferimento; dopo questo passaggio preliminare si è effettuato il confronto fra le superfici utilizzando due differenti pacchetti software: ERDAS Imagine 9.0, che è un software commerciale distribuito dalla Leica Geosystems; e DEMANAL, che è uno dei molteplici moduli del software scientifico BLUH, sviluppato alla Leibniz University di Hannover.

Le principali differenze fra i due software si possono riassumere in quanto segue: DEMANAL ha la possibilità di calcolare lo scarto quadratico medio come funzione dell'inclinazione del terreno; permette il calcolo della distanza euclidea fra le due superfici, interpola automaticamente il DSM da analizzare sul DSM di riferimento ed è ideato per tenere in considerazione anche una eventuale differenza di scala (riferimento) fra i due modelli digitali che si stanno confrontando. Al contrario ERDAS permette il confronto tra due modelli digitali solo se questi presentano la stessa risoluzione spaziale; perciò, per eseguire i confronti nelle stesse condizioni, prima di utilizzare ERDAS, i modelli sono stati interpolati sulla griglia del riferimento utilizzando un'interpolazione bilineare.

Confronto ERDAS-DEMANAL

Per prima cosa è stato controllato se non ci fossero problemi di datum di riferimento fra i differenti modelli digitali; il modello SRTM si è dimostrato essere coerentemente riferito rispetto al LIDAR, mentre l'analisi del DSM ASTER ha rivelato un consistente shift in quota (20 m). Dopo tale studio preliminare si è iniziato a confrontare i differenti prodotti per comprendere le loro accuratèzze e per analizzare il comportamento dei due software operanti sotto le stesse condizioni. In Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4 vi sono i risultati ottenuti interpolando i prodotti da testare sulla griglia del LIDAR, rispettivamente in un'area aperta, in un'area urbana e in un'area boschiva.

Area aperta	ERDAS			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	372559	372367	372163	372632
BIAS (m)	27.73	-1.69	-0.31	1.52
SQM (m)	3.97	5.00	4.59	3.87
RMSEh (m)	28.01	5.27	4.60	4.16
	DEMANAL			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	327137	270840	270840	272934
BIAS (m)	27.59	-1.89	0.00	1.32
SQM (m)	3.56	3.65	2.49	2.35
RMSEh (m)	27.82	4.11	2.49	2.70

Tabella 2 – Analisi dei prodotti nei confronti del LIDAR, confronto tra ERDAS e DEMANAL sull'area aperta (SQM = scarto quadratico medio dopo l'eliminazione del BIAS)

Area urbana	ERDAS			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	1355357	1351336	1350690	1356532
BIAS (m)	22.19	1.74	2.48	4.14
SQM (m)	7.22	8.76	8.45	8.79
RMSEh (m)	23.33	8.93	8.81	9.62
	DEMANAL			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	1282328	1174243	1174243	1172451
BIAS (m)	22.20	1.77	2.55	4.23
SQM (m)	7.08	7.61	7.41	7.70
RMSEh (m)	23.30	7.81	7.84	8.79

Tabella 3 – Analisi dei prodotti nei confronti del LIDAR, confronto tra ERDAS e DEMANAL sull'area urbana

Area boschiva	ERDAS			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	1737455	1739309	1350690	1739017
BIAS (m)	32.45	5.59	2.48	8.73
SQM (m)	8.48	11.89	8.45	11.47
RMSEh (m)	33.54	13.14	12.5	14.42
	DEMANAL			
	ASTER	SRTM Finished	SRTM DTED	SRTM CGIAR
N° of data	1587596	1486039	1500383	1502216
BIAS (m)	31.86	3.97	4.17	7.92
SQM (m)	7.97	8.89	8.11	8.71
RMSEh (m)	32.84	9.74	9.12	11.77

Tabella 4 – Analisi dei prodotti nei confronti del LIDAR, confronto tra ERDAS e DEMANAL sull'area boschiva

Dal momento che si stanno confrontando prodotti con risoluzioni spaziali molto differenti ci si attendono valori di BIAS abbastanza elevati, specialmente nelle zone boschive, in cui il LIDAR è in grado di penetrare le cime degli alberi, al contrario dei modelli che vengono analizzati. Le differenze vengono riportate con il segno della correzione da applicare ai modelli che vengono testati (i punti localizzati al di sopra del DSM di riferimento hanno valori negativi di scarto).

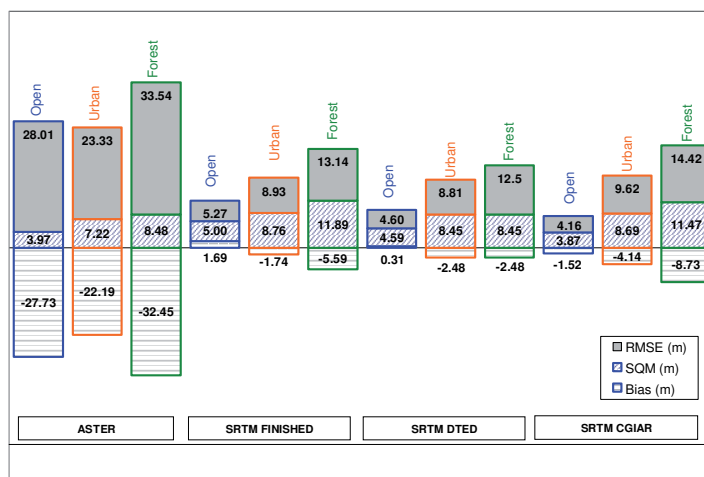


Figura 5 – Riassunto dei risultati 2.5D ottenuti con ERDAS Image 9.0

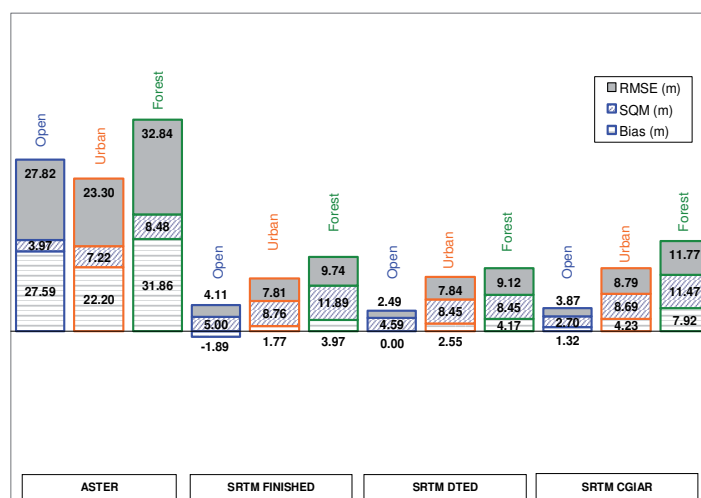


Figura 6 – Riassunto dei risultati 2.5D ottenuti con DEMANAL.

In Figura 5 e 6 sono riportati i risultati ottenuti nel confronto utilizzando ERDAS Image 9.0 e DEMANAL. E' immediato verificare come l'RMESH si incrementi passando dall'area aperta all'area boschiva per un effetto dovuto all'andamento del BIAS che dell'SQM: il BIAS risulta molto piccolo per l'area aperta, mentre cresce notevolmente per le altre due zone analizzate, il che sta a significare che le superfici SRTM e ASTER si trovano globalmente al di sopra rispetto al riferimento del LIDAR. Allo stesso modo la differenza di andamento fra le due superfici (espressa numericamente dal SQM) cresce con la complessità della superficie descritta.

Considerando i risultati del DSM ASTER si evidenzia la presenza di un BIAS significativo che altera i risultati complessivi influenzando sul RMSEh e facendolo risultare superiore per la zona aperta rispetto a quella urbana. Al contrario, l'andamento crescente del SQM passando dalla zona aperta alla zona boschiva riflette bene la differente complessità del terreno descritto.

Infine si nota come l'approccio di DEMANAL sia in grado di tenere in considerazione questo BIAS verticale durante una prima iterazione, e di eliminare la sua influenza nei risultati durante una

seconda iterazione. In Figura 6 sono riportati i risultati ottenuti con DEMANAL; dopo la rimozione del BIAS l'andamento del RMSEh è comparabile con quello del SRTM.

Le prime analisi operate nelle stesse condizioni di lavoro hanno mostrato che i due pacchetti software si comportano orientativamente nello stesso modo, anche se si nota una differenza nel numero di punti utilizzati per i confronti che porta poi a differenze nei valori finali di RMSEh. Inoltre tra i vari DSM SRTM il DTED sembra avere l'RMSEh minore mentre il CGIAR appare addirittura essere il meno accurato dei tre. Questo risultato merita di essere ulteriormente approfondito.

Ulteriori analisi usando DSM CARTOSAT-1 come riferimento

Sulla zona in esame è disponibile un DSM con risoluzione spaziale di 5 metri, ottenuto da precedenti lavori di ricerca (Crespi M, Jacobsen K, et al., 2008). I DSM ASTER e SRTM sono stati confrontati con questo modello digitale sull'area in esame, i risultati sono riportati in Tabella 7.

	DEMANAL					
	ASTER (2°iter)	SRTM DTED	ASTER (2°iter)	SRTM DTED	ASTER (2°iter)	SRTM DTED
	Area aperta		Area urbana		Area boschiva	
BIAS (m)	0.48	-0.54	0.12	0.20	1.24	-0.83
SQM (m)	3.48	2.53	5.30	5.88	8.44	8.68
RMSEh (m)	3.52	2.59	5.30	5.88	8.53	8.72

Tabella 7 – DSM in esame confrontati con il DSM CARTOSAT-1

In questo caso si ottengono risultati migliori: CARTOSAT-1 descrive la superficie visibile e non il suolo nudo (come il LIDAR), e questo è chiaramente apprezzabile nel valore dei BIAS che si avvicinano a zero per le differenti coperture di terreno. I risultati relativi alla zona aperta sono comparabili con quelli ottenuti dal confronto con il LIDAR, mentre nelle zone urbana e boschiva si notano differenze sensibilmente più contenute.

Conclusioni e sviluppi futuri

Nell'analisi del DSM ASTER è stato riscontrato un significativo BIAS (circa 20 m) che è la causa principale di una accuratezza uguale o inferiore a quella dichiarata (25 m), anche nella zona aperta. Nell'analisi dei DSM SRTM si evidenzia un incremento del BIAS, partendo da valori bassi nella zona aperta per crescere poi in quella boschiva. Inoltre per tutti e tre i prodotti le accuratezze risultano essere migliori di quelle dichiarate (LE90 entro i 16m, RMSEh entro i 9.7m) nelle zone aperte, mentre sono allo stesso livello o leggermente peggiori di quanto dichiarato per le zone urbana e boschiva.

I risultati migliori ottenuti nel confronto con il DSM di CARTOSAT-1, in particolare nelle zone urbana e boschiva, possono essere spiegati dal fatto che la maggior parte delle alte frequenze del terreno vengono filtrate da CARTOSAT-1, mentre sono presenti nel LIDAR; dunque la superficie rappresentata appare più simile a quella dei DSM ASTER e SRTM.

Sono necessarie ulteriori analisi in zone dove sia disponibile una copertura più ampia per il DSM LIDAR. Allo stesso modo devono essere investigati meglio i risultati del DSM CGIAR che non risultano coerenti con le accuratezze dichiarate.

Bibliografia

- (2) <http://eros.usgs.gov/products/elevation/srtmtdted.php#product-description> (Ultimo accesso 15-05-2009)
- Jarvis A., et al. (2004), "Practical use of SRTM data in the tropics –Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data"
- (3) <http://srtm.csi.cgiar.org/> (Ultimo accesso 01/09/2009)
- Crespi M, Fratarcangeli F, Giannone F, Colosimo G, Pieralice F, Jacobsen K. "Geometric potential of Cartosat-1 stereoimagery", ISPRS Beijing 2008.