

STIMA DELL'ACCURATEZZA DI DEM OTTENUTI DA DATI SATELLITARI E DA CARTOGRAFIA TOPOGRAFICA

Valeria ALESSANDRO (*), Sara MINELLI (*), Luca ONGARO (*)

Istituto Agronomico per l'Oltremare, Via A. Cocchi 4 – 50131 Firenze – Tel.: 055 5061560 – Fax: 055 5061333

Riassunto

Il presente lavoro confronta l'accuratezza del valore della quota di DEM ottenuti dal sensore ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), da dati SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e da carte topografiche (1:50.000). Sia i dati ASTER che SRTM sono stati scaricati gratuitamente dai rispettivi siti Internet, mentre le curve di livello sono state digitalizzate a schermo partendo dalla carte topografiche scannerizzate. Il confronto è stato realizzato su un'area di studio del Marocco settentrionale, comprendente la città di *Larache*, caratterizzata al centro dalla larga pianura alluvionale dello *Oued Lekkous* e circondata da zone collinari con quote fino a 160m. Nei 3 diversi DEM, la dimensione del pixel è stata imposta a 30m e la validazione è stata effettuata confrontando i valori della quota ottenuta dai DEM con quelli di 206 punti geodetici, estrapolati direttamente dalla carta topografica, ed utilizzando l'errore quadratico medio (RMSE). Dall'analisi effettuata globalmente su tutta l'area di studio risulta che i 3 differenti DEM hanno tutti un errore di quota abbastanza simile variabile da ± 5.4 m a ± 6.8 m e tra questi il DEM ottenuto dalla carta topografica risulta il migliore. Nella zona di pianura invece i DEM SRTM e ASTER hanno una maggior accuratezza ed in particolare l'SRTM raggiunge un errore di soli ± 3.35 m. Nelle zone collinari anche se l'accuratezza di quest'ultimo DEM diminuisce rimane però sempre superiore al DEM-ASTER. Dall'analisi costi-benefici il dato SRTM risulta comunque sufficientemente accurato e quindi particolarmente adatto a studi ambientali a piccola scala, anche in considerazione della sua gratuità.

Abstract

The paper compares the vertical accuracy of DEMs extracted from ASTER data (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), SRTM data (Shuttle Radar Topographic Mission), and from topographic map data (scale 1:50.000). Both ASTER and SRTM data were downloaded for free from their respective web sites, while contour lines were on-screen digitized using the scanned topographic map as a reference base. The study area is located in northern Morocco, nearby *Larache* city, and is dominated, in its middle portion, by the wide *Oued Lekkous* alluvial plain surrounded by a hilly area which reaches the maximum elevation of 160m. The accuracy assessment was accomplished by comparing the elevation values extracted by the DEMs, whose pixel size was fixed at 30m, to 206 geodetic points, directly extrapolated by the topographic map. The root-mean-square-error (RMSE) was calculated. Considering the whole study area, the three DEMs are similar in accuracy, with an error ranging from ± 5.4 m to ± 6.8 m, and the DEM derived from the topographic map proves to be the best one. Instead, considering the floodplain only, SRTM and ASTER DEMs are more accurate and, in particular, the SRTM DEM reaches here the lowest RMSE value, ± 3.35 m. In the hilly areas the accuracy of this latter DEM decreases, but it remains higher than the one of the ASTER DEM. From the cost-and-benefit analysis, it comes out that SRTM data are accurate enough and, as a consequence, particularly suitable for environmental studies at small scale, even in consideration of its gratuitousness.

Introduzione

Sin dalla loro comparsa alla fine degli anni cinquanta (Miller, Laflamme, 1958) i modelli digitali del terreno (DEM) sono stati oggetto di grande interesse, trovando inizialmente applicazione nel settore geologico, minerario e dell'ingegneria civile.

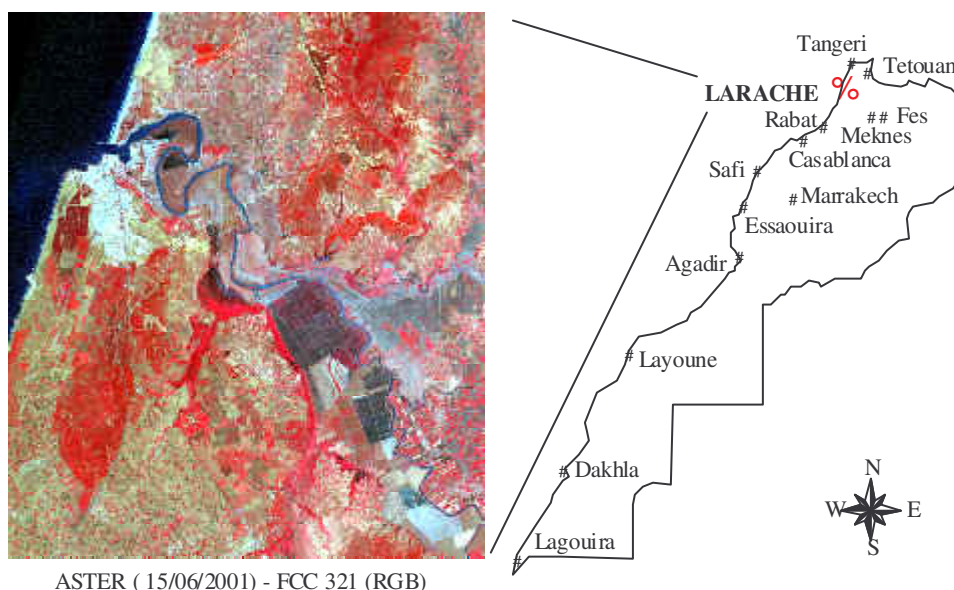
Dagli anni novanta in poi i DEM sono diventati parte integrante di qualsiasi sistema informativo geografico (GIS) dedicato alla modellizzazione ambientale o alla gestione delle risorse naturali; sovrapponendoli in un GIS ad altri strati tematici è possibile migliorare la possibilità di estrarne informazioni. Attualmente i DEM sono considerati un prodotto a sè stante, dal quale è possibile derivare dati morfologici indiretti quali isoipse, pendenze, esposizione dei versanti, etc. (Kamp et al., 2003). Di conseguenza negli ultimi anni sono stati fatti molti sforzi sia nello sviluppo di sensori satellitari capaci di produrre dati da cui generare DEM, sia in quello di *software packages* con cui elaborare automaticamente tali dati. Per menzionarne solo alcuni: PCI Geomatica, ENVI, ERDAS e altri. Per quanto riguarda i sensori satellitari uno dei primi disegnati a questo scopo è stato SPOT, capace di fornire immagini stereo digitali di tipo *across-track* con risoluzione a terra di 10 e 20m. Da allora sono stati lanciati molti nuovi satelliti dotati di sensori per l'acquisizione di immagini adatte a generare DEM, la maggior parte dei quali con sistema di scansione di tipo *along-track*. Il principale vantaggio di tale geometria consiste nel minore tempo intercorrente tra l'acquisizione delle immagini stereo, con una conseguente riduzione nelle variazioni radiometriche (Toutin, Cheng, 2002). Costituisce dunque oggi un'interessante alternativa all'impiego di immagini SPOT, la disponibilità del sensore multispettrale ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), dotato di un telescopio aggiuntivo retro-orientato per garantire la copertura stereo, in grado di fornire immagini con risoluzione di 15m che, per un certo periodo di tempo, sono state scaricabili gratuitamente (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Gratuitamente disponibile è anche un DEM a copertura globale, con risoluzione di circa 90m, prodotto dalla *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) realizzata dalla NASA in collaborazione con la NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) durante un volo di 11 giorni nel febbraio 2000.

Attualmente sono dunque disponibili sul mercato molte immagini a differente risoluzione spaziale, radiometrica, spettrale e temporale. La scelta dell'immagine più adatta dipende principalmente dalla disponibilità di dati per una particolare area di studio in un determinato periodo di tempo, dal prezzo e dalla scala di lavoro. D'altra parte è importante valutare anche l'accuratezza del modello digitale del terreno che può essere prodotto a partire da tali immagini. La maggior parte degli studi relativi alla stima dell'accuratezza di DEM automaticamente generati riguarda dati SPOT (Bolstad, Stowe, 1994; Al-Rousan et al., 1997; Al-Rousan, Petrie, 1998; Zomer et al., 2002; Buyuksalih et al., 2004), mentre sono ancora relativamente pochi quelli dedicati alle immagini ASTER (Toutin, Cheng, 2002; Eckert et al., 2005; Wenbin et al., 2005). Per questo motivo si è scelto di valutare e mettere a confronto, con il presente lavoro, l'accuratezza di tre diversi tipi di DEM: due generati automaticamente da immagini ASTER e SRTM, l'altro ottenuto per interpolazione a partire dalle curve di livello digitalizzate a schermo sulla base di carta topografica in scala 1:50.000 scannerizzata.

L'area di studio

L'area di studio si trova nella parte nord-occidentale del Marocco (Figura 1), circa 100 km a sud di Tangeri (35°-35°15'N, 6°-6°15'E). Al centro di tale area scorre in direzione sud-est verso nord-ovest lo *Oued Lekkous*, che sfocia nell'Oceano Atlantico vicino alla città di *Larache*. L'area in esame, con un'estensione di circa 187km², è un estratto di una zona più ampia che è stata oggetto di studio del 22° Corso "Geomatics and Natural Resources Evaluation" organizzato dall'Istituto Agronomico per l'Oltremare nel 2002.

Dal punto di vista del paesaggio può essere suddivisa in 3 diverse fasce altimetriche corrispondenti a diversi substrati litologici. La pianura alluvionale dello *Oued Lekkous*, formata da depositi prevalentemente incoerenti antichi e recenti, separa una zona collinare settentrionale da una zona sub-pianeggiante meridionale.



ASTER (15/06/2001) - FCC 321 (RGB)

Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio.

Nel settore settentrionale i rilievi, costituiti principalmente da marne, arenarie e depositi quaternari antichi, hanno quote che variano tra 20m in prossimità della pianura alluvionale a oltre 160m nella porzione più lontana. In questa parte si trova la foresta di *Ghaba Khemis Sahel* costituita prevalentemente da afforestazioni di *Eucalyptus* spp. e da foreste naturali di *Quercus suber*, visto il clima secco presente in questa zona. La zona meridionale è caratterizzata invece da un'ampia area sub-pianeggiante che corrisponde ad un substrato generalmente sabbioso di origine sia continentale che marina. Le quote sono variabili da 50 a 80m. In questa zona, a circa 1km da *Larache*, si trova la foresta di *Ghaba Larache* costituita per il 49% da vegetazione naturale e, per la restante parte, da afforestazioni di *Eucalyptus* spp. Anche in questo caso la vegetazione naturale è rappresentata da foreste di *Quercus suber* da chiuse ad aperte. Afforestazioni di *Eucalyptus* spp. e *Pinus pinea* caratterizzano anche la zona costiera a sud di *Larache*.

Eccetto le due foreste e la presenza di strette fasce di vegetazione naturale lungo gli affluenti principali dello *Oued Lokkous*, l'uso del territorio è ovunque di tipo agricolo, caratterizzato dalla presenza di numerosi villaggi rurali e con un'agricoltura sia di tipo estensivo, con grandi campi irrigui nella zona di pianura, che da piccoli campi nella rimanente area.

Materiali e metodi

La valutazione dell'accuratezza dei DEM è stata effettuata comparando le quote di 206 punti geodetici con le quote estratte dai DEM.

Durante la prima fase di lavoro sono stati generati due DEM, uno ricavato dalle immagini ASTER e l'altro dalle carte topografiche. I dati ASTER, tipo L1B, sono stati scaricati gratuitamente nel 2002 dal sito dell'EOS Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>).

Il DEM-ASTER è stato realizzato attraverso il modulo AsterDTM del software ENVI 4.2, progettato dalla società brasiliana SulSoft. In fase di generazione il DEM-ASTER è stato corretto geometricamente utilizzando 10 punti di controllo, corredati dei rispettivi valori di quota, estrapolandoli dalla carta topografica in scala 1:50.000. Il DEM ottenuto dalla carta topografica (DEM-TOP) è stato invece realizzato a partire dalle curve di livello, con equidistanza di 10m, precedentemente digitalizzate. Per generare questo DEM è stato utilizzato il relativo modulo del software EASI/Pace.

Il DEM-SRTM è stato invece scaricato dal sito <ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/SRTM/>.

Per facilitare il confronto visuale, la dimensione del pixel è stata impostata a 30m, pertanto il DEM-SRTM è stato ricampionato utilizzando un algoritmo di tipo "nearest neighbour".

Durante la seconda fase del lavoro sono stati estratti i dati altimetrici dei punti quotati ed è stato calcolato per ciascuno l'errore quadratico medio (RMSE).

In generale l'accuratezza di un DEM dipende da svariati fattori tra cui la qualità dei dati in ingresso, il metodo usato per la generazione del modello e le caratteristiche della superficie del terreno possono essere considerati i più significativi (Gong et al., 2000). Per questo motivo si è deciso di confrontare i tre DEM con i valori dei punti quotati sia sull'area di studio nel suo insieme, analizzando in questo caso solamente la qualità dei dati in ingresso, sia suddividendo la stessa sulla base delle diverse morfologie. E' stata così individuata una zona di pianura, coincidente con la piana alluvionale dello *Oued Lekkous*, caratterizzata da quote inferiori ai 10m. La restante parte dell'area di studio è stata suddivisa a seconda dei valori di inclinazione delle superfici in una zona sub-pianeggiante, per valori inferiori a 1.15° (FAO, 1990) e in una collinare, con pendenze che comunque non arrivano a superare i 14°. L'immagine dell'inclinazione è stata ottenuta dal DEM-STRM utilizzando il modulo "Topographic Modeling/Slope" di ENVI 4.2.

Risultati

I 3 DEM ottenuti sono mostrati nella Figura 2. Già attraverso un'analisi qualitativa delle immagini si nota come le maggiori differenze interessino principalmente le zone pianeggianti. In particolare il DEM-ASTER calcola valori di elevazioni negativi.

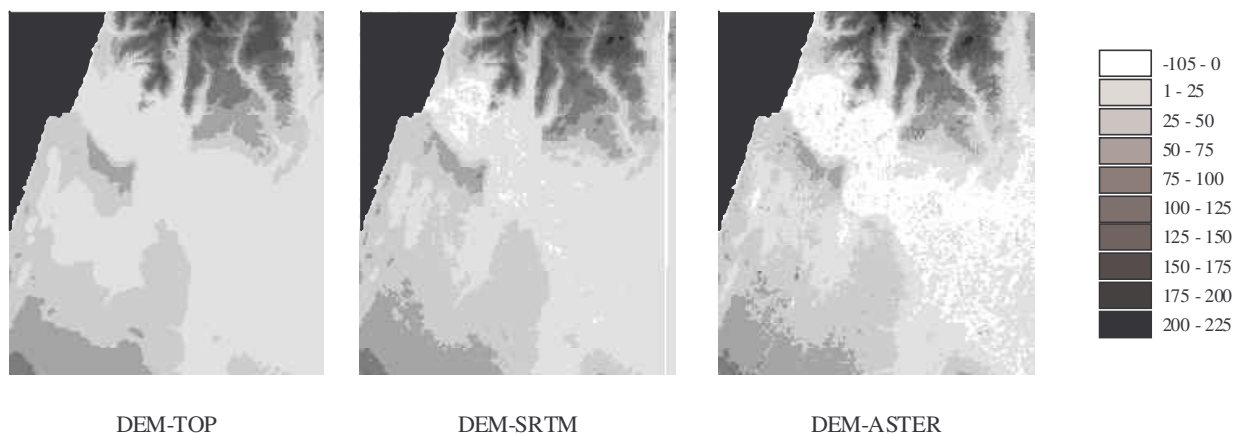


Figura 2 - DEM ottenuti dai 3 diversi dati.

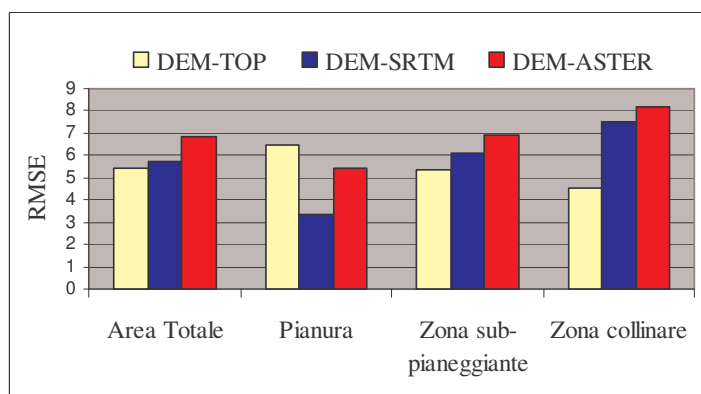


Figura 3 - Accuratezza dei DEM a seconda della morfologia del terreno.

Non essendo basati su tecniche di interpolazione, i DEM SRTM e ASTER descrivono con maggior accuratezza l'andamento della superficie nella zona di pianura, dove sono stati individuati 46 punti di controllo; in particolare il DEM-SRTM raggiunge qui un errore di soli ± 3.35 m.

Come detto nel paragrafo della metodologia, l'accuratezza è stata valutata calcolando l'errore quadratico medio (RMSE) ed i risultati sono presentati nella figura 3.

Considerando l'area di studio nel suo complesso, il miglior DEM risulta essere quello ricavato dalla carta topografica, con un RMSE pari a ± 5.42 m; evidentemente, d'altra parte, essendo esso il risultato dell'interpolazione delle curve di livello, la sua accuratezza sarà maggiore nelle zone più accidentate, mentre tenderà a diminuire nelle zone pianeggianti o subpianeggianti, dove le

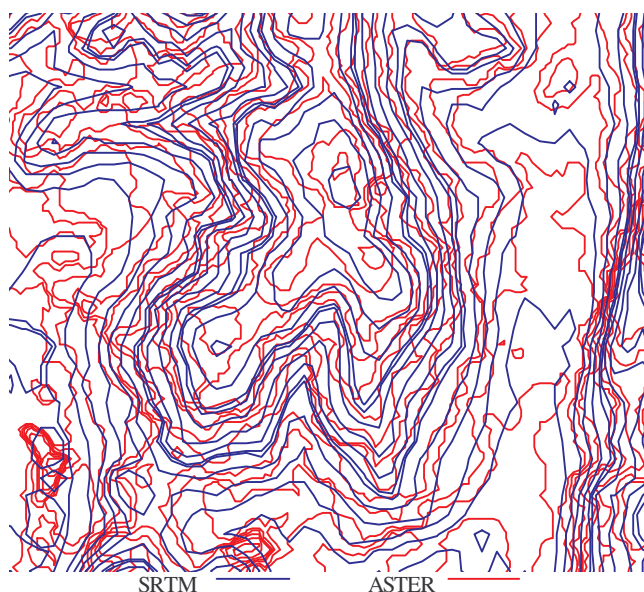


Figura 4 - Particolare delle curve di livello ottenute dal DEM-ASTER e DEM-SRTM.

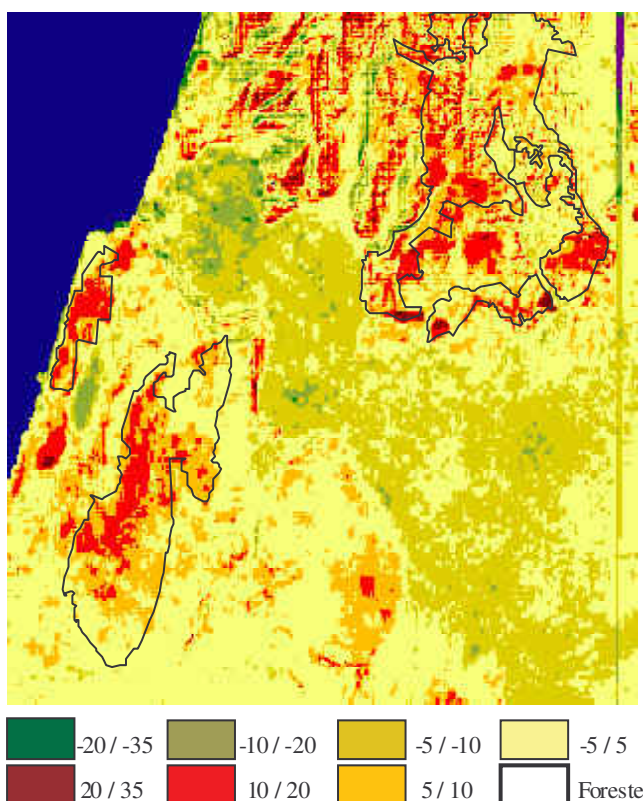


Figura 5 - Immagine differenziale, ricavata sottraendo al DEM-SRTM il DEM-TOP.

Spostandosi verso le zone collinari, l'accuratezza di quest'ultimo DEM diminuisce; tale andamento può essere facilmente spiegato considerando l'influenza dell'elevata dimensione dei suoi pixels (90m), troppo grande rispetto alle variazioni morfologiche della zona e alla loro accurata rappresentazione nelle carte topografiche al 50.000, da cui sono stati prelevati i dati di controllo.

L'accuratezza del valore di elevazione non è tuttavia sufficiente a descrivere la qualità complessiva dei vari DEM; il DEM-ASTER presenta un RMSE sempre più elevato rispetto al DEM-SRTM, eppure è dotato di una migliore risoluzione spaziale come è evidenziato dal confronto tra le curve di livello estratte da questi due modelli (Figura 4). Mappando le differenze in quota tra il DEM-SRTM e il DEM-TOP (Figura 5) si è osservato che il DEM-SRTM tende a sovrastimare le quote dei punti in corrispondenza delle zone forestate (con uno scarto compreso tra 5 e 20m), mentre per le aree agricole la differenza in elevazione si mantiene generalmente compresa tra ± 5 m. E' stata quindi analizzata la statistica delle differenze tra l'SRTM e i punti quotati della mappa topografica, limitatamente alle aree delle foreste di *Ghaba Larache* e *Ghaba Khemis Sahel* (Figura 6): effettivamente in entrambe le zone si è registrata una sovrastima media delle elevazioni del DEM-SRTM pari a 1.23 e 3.95m rispettivamente, con deviazioni standard di 5.75 e 4.30m. Questa differenza sistematica può essere dovuta proprio alla presenza della vegetazione: nelle aree a copertura forestale l'SRTM descrive la superficie delle chiome degli alberi piuttosto che quella del terreno e dunque costituisce, in effetti, un Modello Digitale della Superficie (DSM) (Goncalves, 2005).

	n° CP	Hmin (m)	Hmax (m)	Media (m)	Dev. St. (m)	RMSE (m)
<i>Ghaba Larache</i>	13	-13	11	1.23	5.75	5.89
<i>Ghaba Khemis Sahel</i>	22	-5	15	3.95	4.30	5.77

Figura 6 - Statistiche delle differenze tra SRTM DEM e punti quotati relativamente alle zone forestate.

Conclusioni

Negli ultimi anni l'utilizzo dei DEM è diventato una reale necessità in tutti i tipi di cartografia tematica; infatti dai semplici dati di elevazione è possibile ricavare dati morfologici indiretti come la pendenza, l'esposizione di versante, ecc. I DEM si distinguono anche sulla base della diversa "sorgente" da cui si possono ottenere e negli ultimi anni, con l'avvento di nuovi sensori e satelliti, non è più strettamente collegata al rilevamento topografico. Non meno importante risulta anche il costo da sostenere per ottenere i DEM; infatti alcuni dei dati considerati risultano ancora essere "free download" o lo sono stati per un certo periodo di tempo. Nel presente lavoro infatti sia i dati ASTER che SRTM sono stati scaricati gratuitamente dai rispettivi siti Internet. Dall'analisi effettuata sull'intera area di studio il DEM-TOP risulta essere il migliore, con un errore di $\pm 5.42\text{m}$. Lo stesso risultato si ha anche per le zone sub-pianeggianti e per quelle collinari, mentre nelle zone pianeggianti la mancanza di dati determina un incremento dell'errore. Anche il DEM-SRTM ha una buona accuratezza sia globalmente in tutta l'area di studio che nelle diverse zone topografiche. Poiché tale accuratezza risulta superiore a quella ottenuta con il DEM-ASTER si può concludere, analizzando anche i costi-benefici, che il dato SRTM risulta comunque sufficientemente accurato e quindi particolarmente adatto a studi ambientali a piccola scala, anche in considerazione della sua gratuità.

Bibliografia

- Al-Rousan N., Cheng P., Petrie G., Toutin T., Valadan Zoe M.J. (1997), "Automated DEM extraction and orthoimage generation from SPOT Level 1B imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63: 965-974
- Al-Rousan N, Petrie G. (1998), "System calibration, geometric accuracy testing and validation of DEM orthoimage data extracted from SPOT stereopairs using commercially available image processing systems" *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34: 8-15
- Bolstad P.V., Stowe T. (1994), "An evaluation of DEM accuracy - Elevation, slope, and aspect" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(11): 327-1332
- Buyuksalih G., Oruc M., Topan H., Jacobsen K. (2004), "Geometric accuracy Evaluation, DEM generation and validation for SPOT-5 Level 1B stereo Scene", EARSeL Workshop "Remote Sensing for Developing Countries, Cairo 2004
- Eckert S., Kellenberger T., Itten K. (2005), "Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from aster data in mountainous terrain", *International Journal of Remote Sensing*, 26: 1943-1957
- FAO (1990), "Guidelines for soil description", pp. 69. FAO Rome
- Goncalves J., Fernandes J.C. (2005), "Assessment of SRTM-3 DEM in Portugal with topographic map data", EARSeL Workshop: 3D Remote Sensing, June 10th - 11th 2005, Porto
- Gong J., Li Z., Zhu Q., Sui H., Zhou Y. (2000), "Effects of various factors on the accuracy of DEMs: an intensive experimental investigation", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(9): 1113-1117
- Kamp U., Bolch T., Olsenholler J. (2003), "DEM generation from ASTER satellite data for geomorphometric analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia", ASPRS 2003 Ann. Conf. Proc.
- Miller C., Laflamme R. (1958), "The digital terrain model - Theory and applications", *Photogrammetric Engineering*, 24: 433-442
- Toutin T., Cheng P. (2002), "Comparison of automated digital elevation model extraction results using along-track ASTER and across-track SPOT stereo images" *Optical Engineering*, 41(9): 2102-2106
- Wenbin Wu, Jinqiu Zou, L., Ongaro (2005), "Extracting Digital Elevation Data Model from ASTER Data". In "Resources Remote Sensing and Digital Agriculture", *Chinese Agricultural Science and Technology Press*, Beijing, 197-207
- Zomer R., Ustin S., Ives J. (2002), "Using satellite remote sensing for DEM extraction in complex mountainous terrain: landscape analysis of the Makalu Barun National Park of eastern Nepal" *International Journal of Remote Sensing*, 23: 125-143