

# CONTROLLO DI QUALITA' A SCALA REGIONALE DI DTM ACQUISITI MEDIANTE TECNICHE SAR (SRTM)

F. Giulio Tonolo<sup>a</sup>, A. Lingua<sup>a</sup>, F. Nex<sup>a</sup>, F. Rinaudo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Politecnico di Torino, DITAG, C.so Duca degli Abruzzi, 24, 10129, Torino, ITALY  
(Fabio.giuliotonolo, andrea.lingua, francesco.nex, fulvio.rinaudo)[@polito.it](mailto:)

**KEY WORDS:** DTM, precisione, SAR, SRTM

## RIASSUNTO

I modelli digitali di superficie derivati dalle acquisizioni della *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* sono disponibili gratuitamente in rete in coordinate geografiche con dimensioni della maglia di 1 e 3 archi di secondo in coordinate geografiche (rispettivamente circa 30 m e 90 m all'equatore). Questi dati sono di estremo interesse in quanto rappresentano l'unica fonte di informazioni altimetriche a scala globale con caratteristiche dichiarate di precisione e risoluzione geometrica tali da ipotizzare un loro utilizzo nella realizzazione di ortofoto e cartografia speditiva a piccola scala.

L'obiettivo del presente contributo è la determinazione dell'accuratezza di posizionamento verticale nel contesto italiano, utilizzando come aree test zone di territorio particolarmente idonee per la validazione di dati altimetrici, poiché rappresentative delle diverse tipologie di morfologia quali pianura, collina e montagna. Dal punto di vista metodologico i dati *SRTM* sono stati analizzati in termini quantitativi tramite una comparazione con modelli altimetrici del territorio di ambito regionale e provinciale aventi un'accuratezza dichiarata di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto a quella attesa (stimata in base all'ampia bibliografia esistente). Ciò ha richiesto un preliminare processamento dei dati finalizzato a renderli omogenei dal punto di vista dei sistemi di riferimento utilizzati: è stata infatti valutata la presenza di eventuali errori sistematici nella georeferenziazione al fine di quantificarne l'influenza sulla precisione finale, sfruttando tecniche di correlazione a pixel intero e sub-pixel ormai collaudate nel campo della fotogrammetria digitale. I risultati sono interpretati tenendo conto anche delle particolari tecniche di acquisizione, valutandone eventuali relazioni con la morfologia del territorio.

## ABSTRACT

*Digital Surface Models with a spatial resolution varying from 1" to 3" (wich means respectively 30 m and 90 m respect to the equator) obtained through the processing of the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) data are freely available. This kind of data are extremely useful since they are the only source of elevation data with a worldwide coverage and characterized by a vertical accuracy and by a spatial resolution suitable for rapid mapping purposes and orthoimages production.*

*The goal of this work is to define the vertical accuracy over the Italian country, considering test sites with an orography suitable for the validation of elevation data, wich means a significance presence of mountains, hills and plains.*

*SRTM data were compared with regional or district DTMs characterisd by an accuracy higher than the expected one (according to the avialble literature). This kind of approach require a data pre-processing in order to have both SRTM and reference data georeferenced respect to the same coordinate system. Furthermore it was evaluated the georeferencing error using sub-pixel correlation techniques, in order to estimate its influence on the final vertical accuracy. The results of the performed analysis are shown, paying particular attention to any dependence from morphological parameters such as slope and aspect.*

## 1. INTRODUZIONE

Nella bibliografia afferente al settore della geomatica vengono descritti, con frequenza sempre maggiore, progetti accomunati dall'esigenza di una piccola scala di analisi, a livello regionale, nazionale, continentale e, per alcune particolari applicazioni, globale. Uno degli ambiti applicativi dove un approccio a scala globale risulta auspicabile, è quello della gestione delle emergenze ambientali con impatto a media e piccola scala: risulta infatti necessaria la disponibilità di un database cartografico con copertura mondiale per rendere possibile la produzione di cartografia speditiva nelle prime ore successive all'evento. Tra i vari dati cartografici che confluiscono in un unico contenitore (geodatabase) risultano di estrema importanza i modelli digitali del terreno, utilizzabili sia nelle fasi di prevenzione delle emergenze (es: modellizzazione idraulica per la simulazione di eventi alluvionali) sia nelle fasi successive all'evento (es: produzione di ortofoto a piccola scala). Dal 2003 è disponibile gratuitamente in rete il modello digitale di superficie ottenuto dall'elaborazione dei dati SAR acquisiti dallo Shuttle durante la Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) nel febbraio 2000. Questi dati sono di estremo interesse in quanto rappresentano l'unica fonte di informazioni altimetriche a scala globale con caratteristiche dichiarate di precisione e risoluzione geometrica tali da ipotizzare un loro utilizzo nella realizzazione di ortofoto e cartografia speditiva a piccola scala.

L'intento del presente contributo è la determinazione della precisione di posizionamento verticale dei dati SRTM con passo del grigliato pari a tre archi di secondo, valutando l'eventuale presenza di sistematismi o dipendenze da parametri morfologici. In tal modo potranno essere definiti gli ambiti applicativi di questo dato altimetrico, indispensabili per applicazioni a scala globale nelle aree per le quali non siano disponibili informazioni a scala maggiore.

## 2. AREA TEST E DATI UTILIZZATI

In questo capitolo si intende fornire una sintetica descrizione del dato analizzato e del dato di confronto scelto. Si è deciso di utilizzare come area test l'intera regione Piemonte, in funzione della disponibilità di un dato altimetrico di confronto con una risoluzione geometrica e precisione verticale compatibili con gli obiettivi della ricerca. Tale regione risulta inoltre ottimale per la validazione di dati altimetrici, essendo rappresentativa delle diverse tipologie di morfologia quali pianura, collina e montagna e significativa come estensione areale (25400 km<sup>2</sup> circa). Un limite intrinseco della scelta effettuata è la differenza tra le due tipologie di modelli altimetrici considerati, essendo il dato SRTM un modello digitale di superficie (DSM) e quello della Regione Piemonte un modello digitale del terreno (DTM). La risoluzione geometrica del DSM SRTM e la sua precisione altimetrica dichiarata di circa 20 m dovrebbero comunque rendere tale differenza ininfluenza ai fini della sperimentazioni effettuata.

### 2.1 DSM SRTM

Il DEM STRM è uno dei prodotti cartografici che sono stati messi a disposizione in seguito alla missione spaziale dello Shuttle svoltasi nel periodo 11-22 febbraio 2000. Tale missione nasce da un progetto di cooperazione fra la National Aeronautics and Space Mission (NASA), la Nation Imagery and Mapping Agency (NIMA) e la tedesca Deutches Zentrum für Luft and Raumfahrt (DLR). A questo progetto l'Italia ha preso parte con l'Agenzia Spaziale Italiana, cooperando con DLR nella messa a punto dei sistemi hardware e nel successivo processamento dei dati (Yastikli et al., 2006).

I dati sono stati elaborati a partire da due differenti sistemi interferometrici SAR (Synthetic Aperture Radar) utilizzando la metodologia InSAR che hanno operato contemporaneamente sulla banda X (sistema italo tedesco) e sulla banda C (sistema americano), fornendo un modello di elevazione del terreno a scala mondiale delle aree comprese fra 60°N e 58°S di latitudine (circa l'80% dell'intero globo). In particolare entrambi i sistemi sono provvisti di due sensori per la gestione dei dati: un sensore *master* che invia e riceve il segnale ed un sensore secondario, montato sul braccio telescopico, che riceve solamente il segnale riflesso (figura 1a). Tale sistema di acquisizione è a sua volta suddiviso in tre parti:

- il processore interferometrico, che converte i dati grezzi in modelli di elevazione e immagini radar;
- il "mosaicatore", che processa le strisciate del sensore e le trasforma in immagini e DEM suddivisi per continenti;
- il sistema di verifica, che controlla i dati e produce una mappa delle accuratèzze.

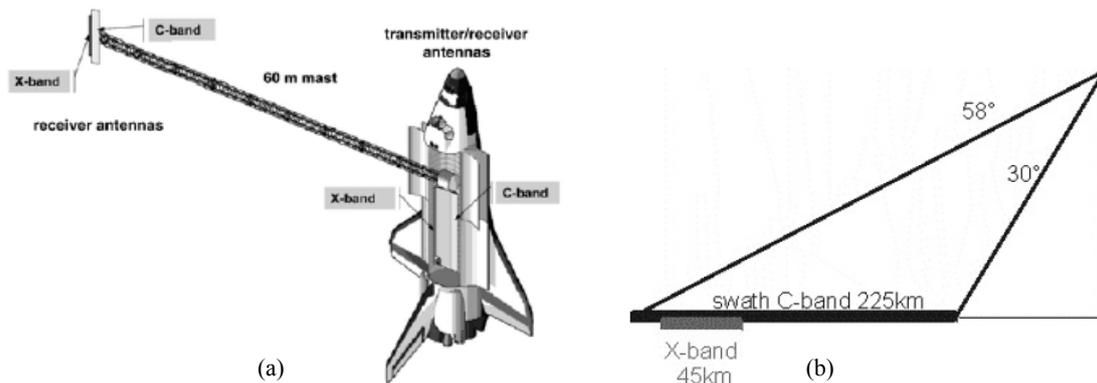


Figura 1 – (a) Geometria di acquisizione dei dati SRTM (b) Larghezza della strisciata al suolo

Le due bande dei segnali acquisiti presentano caratteristiche differenti:

- la banda C ( $\lambda=5,6$  cm), infatti, è munita di un'antenna mobile in grado di eseguire strisciate di larghezza sino a 225 km (figura 1b);
- la banda X ( $\lambda=3$  cm) esegue strisciate di soli 45 km di larghezza (figura 1b), lasciando buchi di copertura che all'equatore possono raggiungere anche i 150 km di ampiezza. Per via della minor lunghezza d'onda, invece, la qualità degli interferogrammi in banda X è circa due volte superiore a quella della banda C anche se, da un punto di vista topografico, essi presentano caratteristiche molto simili (Yastikli et al., 2006).

I dati relativi alla banda X sono memorizzati in file relativi a porzioni di territorio pari a 15° in latitudine e longitudine (circa 30x30 km<sup>2</sup>) con coordinate riferite al datum WGS84; per questi file è stata inoltre realizzata una mappa degli errori la quale fornisce un'indicazione della precisione raggiunta per ciascun pixel (Roth et al., 2001).

La precisione nominale dei DEM SRTM-X è pari a  $\pm 20$  m in planimetria; in quota invece la precisione assoluta è di  $\pm 16$  m, mentre quella relativa è di  $\pm 6$  m, entrambe riferite ad un intervallo di confidenza del 90%. Con il termine accuratezza relativa si intende l'errore relativo commesso fra punti distanti meno di un grado (circa 100 km) (<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/documentation>).

Il processamento della banda C invece ha permesso di generare modelli di elevazione con pixel al suolo di 1 arco di secondo sia in latitudine sia in longitudine. Tali dati, tuttavia, sono disponibili in questo formato solo per il continente nord americano mentre per il resto del mondo sono stati ricampionati a 3 archi di secondo. Tale processo è stato ottenuto mediando il valore radiometrico di 9 pixel (matrice 3x3) e assegnandogli le coordinate del pixel centrale. Sul Piemonte, le maglie di 3 archi di secondo corrispondono ad un pixel al suolo di circa 90 m in longitudine e 65 in latitudine. I dati appena descritti sono disponibili gratuitamente sul sito: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/>. In particolare sono disponibili due versioni di dati: la Version 1 che mette a disposizione i dati come sono stati ottenuti dalla missione spaziale; la Version 2 in cui i valori altimetrici in corrispondenza di corpi d'acqua e linee

costiere sono assegnate costanti. In entrambi i casi questi dati sono messi a disposizione in file con estensione hgt con taglio geografico quadrato di estensione pari ad 1° (1201x1201 pixel<sup>2</sup>).

Sebbene le due versioni di dati forniscano informazioni molto simili fra loro, in questo articolo si è ritenuto di analizzare i dati relativi alla seconda versione come consigliato espressamente dagli stessi produttori ([ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/what\\_are\\_these.pdf](ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/what_are_these.pdf)). Tali dati sono riferiti in planimetria al datum WGS84 mentre in altimetria forniscono quote riferite al livello medio del mare e approssimate dall'ellissoide WGS84-EGM96. Le precisioni della banda C sono confrontabili con quelle della banda X in quanto sono attesi ±16 m di precisione verticale assoluta, ±10 m di accuratezza verticale relativa e ±20 m di accuratezza orizzontale, sempre riferite ad un intervallo di confidenza del 90%.

## 2.2 DEM Regione Piemonte

Il DTM prodotto dalla Regione Piemonte è stato realizzato a cavallo degli anni 80' e 90' attraverso l'uso di fotogrammi aerei acquisiti ad una scala nominale 1:40000. Da questi fotogrammi sono stati restituiti profili altimetrici del territorio con una maglia regolare di 80x80 m<sup>2</sup>. Il DTM, in forma di grigliato regolare, è stato interpolato a partire da questi punti, ottenendo un passo finale di 50x50 m<sup>2</sup>. La precisione nominale dichiarata è di 2,5 m in quota e di 4 m in planimetria. Il sistema di riferimento adottato per georeferenziare i punti del DTM è il sistema cartografico Gauss Boaga riferito al Datum Roma40 con quote ortometriche. In figura 2 è riportata una rappresentazione tridimensionale in pseudo colori del DTM in oggetto, costituito da circa 4200000 punti quotati.



Figura 2 – Visualizzazione 3D in pseudo colori del DTM della Regione Piemonte

## 3. METODOLOGIA DI CONFRONTO

Come si nota in tabella 1 ed in funzione di quanto descritto nei paragrafi 2.1 e 2.2 i dati altimetrici oggetto del presente contributo non sono direttamente confrontabili in quanto:

- sono riferiti a sistemi di riferimento planimetrici ed altimetrici disomogenei;
- presentano un differente passo della maglia di campionamento.

Come evidenziato in (Comoglio et al, 2000) è consigliabile scegliere di modificare il dato di confronto al fine di renderlo paragonabile con il dato oggetto della verifica. In questo modo il dato da “collaudare” non viene modificato e mantiene pertanto inalterate le proprie caratteristiche. Inoltre il DTM della Regione Piemonte ha una precisione di quasi un ordine di grandezza migliore rispetto alla precisione nominale del dato SRTM, con un passo di campionamento più fitto (circa la metà in Nord e il 20% in meno in direzione Est). La procedura di ricampionamento non deteriorerà quindi il dato in maniera significativa rispetto agli obiettivi del lavoro.

	Regione Piemonte	SRTM
<b>Datum planimetrico</b>	Hayford-Roma40	WGS84
<b>Sistema di coordinate</b>	Cartografiche Gauss Boaga	Geografiche
<b>Datum altimetrico</b>	Geoide	Modello globale di geoide EGM96
<b>Risoluzione</b>	50x50 m <sup>2</sup>	3''x3'' (~90x65 m <sup>2</sup> )
<b>Precisione planimetrica</b>	±4 m	±20 m
<b>Precisione altimetrica</b>	±2,5 m	±16 m

Tabella 1. Caratteristiche originali del DTM Regione Piemonte e del dato SRTM

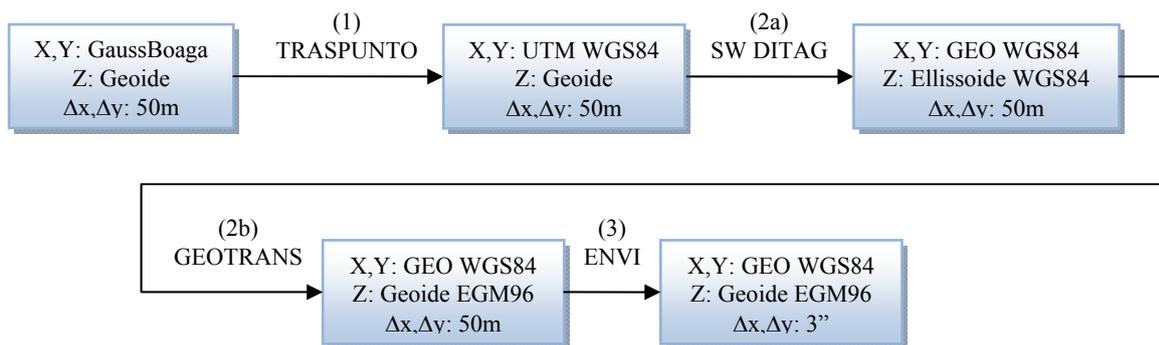


Figura 3: Procedura di elaborazione del DTM Regione Piemonte

Quindi per rendere confrontabili i due modelli altimetrici è stato utilizzata la procedura indicata in figura 3, nella quale sono riportati nel dettaglio i diversi passi che realizzano la trasformazione desiderata, ovvero:

- 1) variazione del datum planimetrico: è stato utilizzato il software Traspunto, dedicato al contesto italiano e sviluppato per il Ministero dell’Ambiente. E’ stato scelto sia per la possibilità di elaborazioni di file di testo di grandi dimensioni (Verto è limitato ad un massimo di 10000 punti) sia per la precisione di conversione planimetrica dell’ordine del metro (Crespi, 2002);
- 2) variazione del datum altimetrico: a) per la trasformazione delle quote ortometriche in altezze ellissoidiche (WGS84) è stato sviluppato un apposito software basato sui dati di ondulazione del geoido ITALGEO2005, che consentono di ottenere una precisione inferiore 5 cm. b) Per convertire tali quote nel sistema geoidico EGM96 è stato invece utilizzato il software Geotrans sviluppato dalla US Army Corps of Engineers.
- 3) Envi è stato infine utilizzato per sottocampionare il DTM attraverso un ricampionamento bilineare, al fine di ottenere un grigliato regolare con passo di tre secondi di arco in cui i vertici della griglia corrispondono a quelli del dato SRTM.

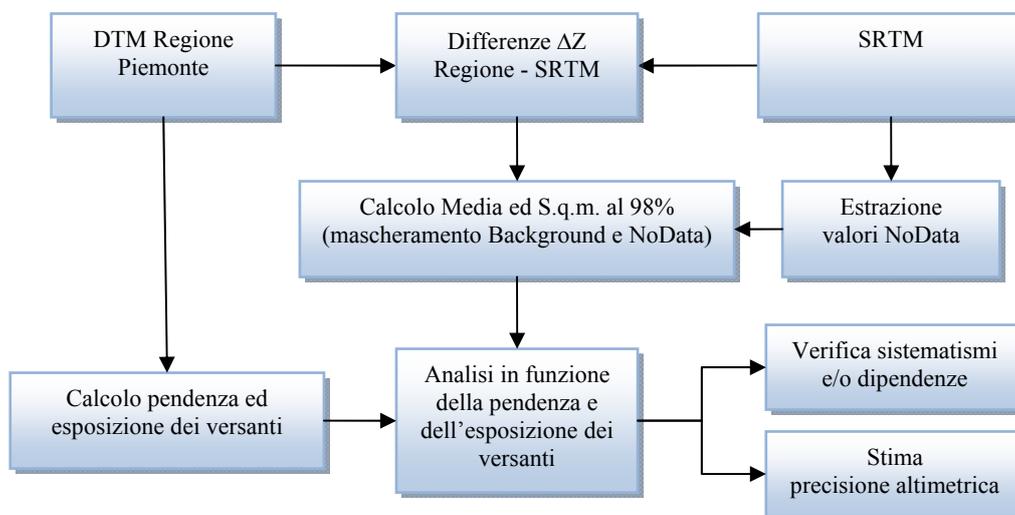


Figura 4: Procedura di confronto

Il DTM della Regione Piemonte, elaborato secondo la procedura illustrata in figura 3, è direttamente confrontabile con il dato SRTM attraverso una semplice sottrazione dei valori di quota corrispondenti alla stessa posizione planimetrica. In figura 4 è invece riportato il diagramma di flusso della procedura di confronto. Il calcolo della media e dello scarto quadratico medio consente di definire rispettivamente l’eventuale presenza di sistematismi e la precisione di posizionamento verticale, avendo ovviamente l’accortezza di escludere dall’analisi i valori di sfondo (-999) e di assenza del dato (-32768). Il dato SRTM è infatti caratterizzato dalla presenza di celle per le quali non è stato possibile stimare il valore di quota, in funzione dei limiti intrinseci della metodologia SAR, particolarmente evidenti nelle zone con elevate discontinuità altimetriche. A titolo di esempio nel subset SRTM utilizzato, relativo all’intero territorio piemontese (circa 4200000 punti), circa 1% dei dati presenta un valore NoData.

Al fine di evidenziare la dipendenza da alcuni fattori morfologici l’analisi statistica è stata effettuata anche per classi di pendenza ed esposizione dei versanti. I valori di pendenza ed esposizione di ogni cella oggetto del confronto è stato calcolato a partire dal DTM della Regione Piemonte

È stata infine valutata la presenza di eventuali errori sistematici nella georeferenziazione (Jacobsen, 2004) al fine di quantificarne l’influenza sulla precisione finale, sfruttando tecniche di correlazione sub-pixel collaudate nel campo della fotogrammetria digitale

#### 4. ANALISI DEI RISULTATI

L'analisi qualitativa dell'immagine relative alle differenze altimetriche (figura 3) calcolate porta a due considerazioni fondamentali per la corretta interpretazione dei risultati:

- come atteso le differenze maggiori in termini assoluti sono localizzate nelle aree di collina ed alta montagna, confermando la dipendenza della precisione altimetrica dalla pendenza del terreno a cui la quota stessa si riferisce. Ciò rende consigliabile esprimere la precisione di un dato altimetrico come una funzione della pendenza. L'analisi della distribuzione delle differenze per classi di pendenza consentirà di definire il tipo di relazione che meglio si presta alla modellizzazione dell'andamento della precisione;
- risulta evidente una distribuzione anomala delle differenze altimetriche. In particolare le zone esposte a sud, sud-ovest sono sempre caratterizzate da valori negativi mentre quelle esposte a nord, nord-est da valori positivi. L'analisi della distribuzione delle differenze altimetriche per classi di esposizione dei versanti permetterà di quantificare il fenomeno e di verificare l'eventuale minimizzazione dello stesso successivamente alla correzione dell'errore di georeferenziazione.

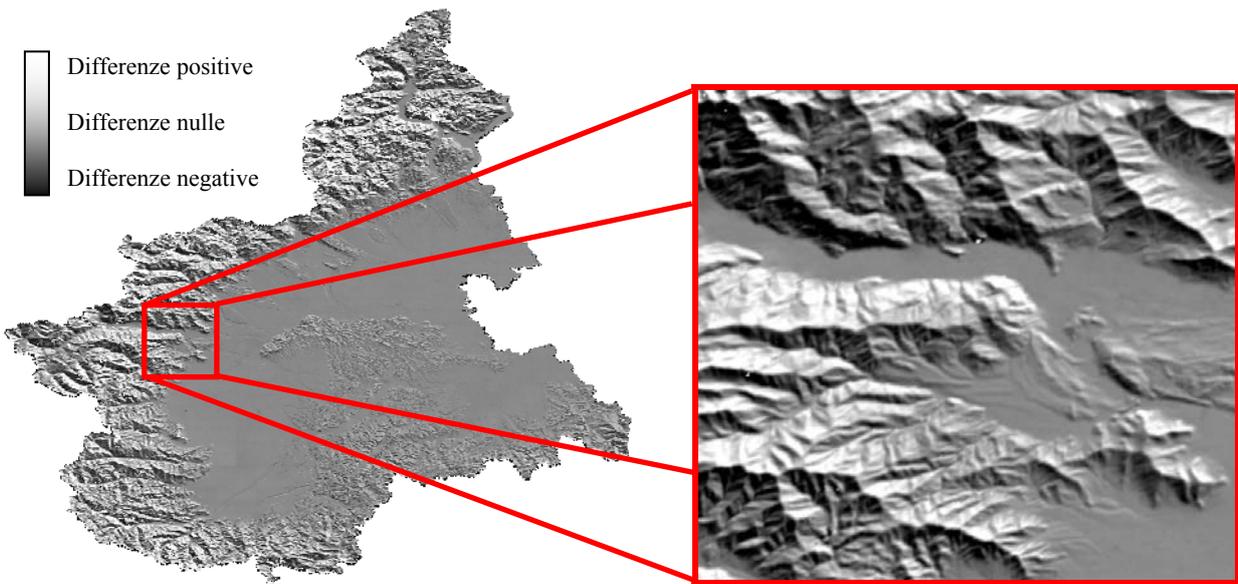


Figura 5: Differenze di quota tra il DTM della Regione Piemonte e il dato SRTM

Dal punto di vista quantitativo sono stati calcolati, a scala regionale ed effettuando un taglio sulle code della distribuzione al 2%, uno s.q.m. pari a  $\pm 54$  m ed una media non significativa (prossima allo zero). In figura 6 sono invece riportati i parametri statistici delle differenze altimetriche suddivisi per classi di pendenza (figura 6a) ed esposizione dei versanti (figura 6b).

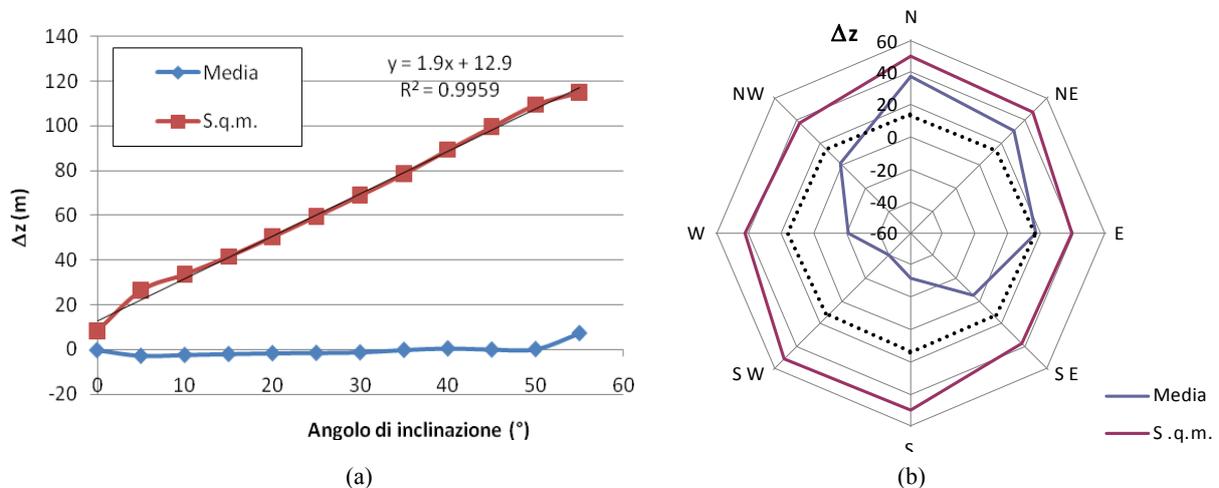


Figura 6: Andamento di media e s.q.m. in funzione dell'angolo di inclinazione (a) e dell'esposizione dei versanti (b)

L'analisi dei grafici di figura 6 conferma le considerazioni desunte dall'analisi qualitativa, in particolare:

- a) viene evidenziata la dipendenza della precisione altimetrica  $\sigma_z$  dall'angolo di inclinazione dei versanti  $\alpha$ , che può essere modellizzata con una relazione lineare ( $R^2$  pari a 0.996) del tipo  $\sigma_z = a + b \alpha$ , dove a, b sono due costanti. Nel caso in esame risulta essere:

$$\sigma_{z, 98\%} = \pm (12.9 + 1.9 \alpha) \text{m}$$

- b) la precisione altimetrica presenta un andamento circa costante con il variare dell'esposizione dei versanti con valore medio dello s.q.m. di 44 m, leggermente migliore per le aree esposte a Nord-Ovest e Sud-Est. La distribuzione della media è invece caratterizzata da un forte sistematismo per cui tutte le aree con esposizione compresa tra Nord-Ovest, Nord-Est, Sud-Est risultano positive e le altre negative. Una probabile interpretazione di tale fenomeno è una traslazione planimetrica  $\Delta s$  dei due dati confrontati, che porta ad errori altimetrici  $\Delta z$  proporzionali, in prima approssimazione, all'inclinazione media del territorio  $\alpha$ , come schematizzato in figura 7.

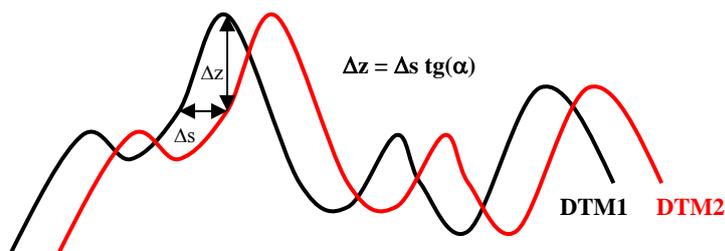


Figura 7: Dipendenza dell'errore altimetrico in funzione dell'errore di georeferenziazione

Al fine di evidenziare la presenza di una eventuale traslazione planimetrica tra il DTM Regione Piemonte ed il dato SRTM è stata implementata dagli autori una procedura di correlazione bidimensionale a *pixel* intero e *sub-pixel* in linguaggio IDL. La procedura è stata quindi applicata su cinque differenti aree campione omogeneamente distribuite sul territorio regionale, ed ha evidenziato (ottenendo coefficienti di correlazione prossimi all'unità) come effettivamente esista una traslazione tra i due dati altimetrici. Essendo gli spostamenti correttivi stimati non costanti per le cinque aree esaminate, sono stati calcolati i valori medi pari a -2 pixel in direzione delle latitudine e +2 pixel in direzione della longitudine. Ciò significa che il dato SRTM è effettivamente traslato in direzione Sud-Ovest di circa 180 m, con una ripercussione sulla precisione altimetrica del tutto compatibile con il grafico di figura 6. Dopo aver opportunamente traslato il dato SRTM è stata nuovamente applicata la procedura di confronto schematizzata in figura 4: l'analisi quantitativa a scala regionale ha confermato quanto ipotizzato in precedenza. Mentre il valore medio continua ad attestarsi su un valore non significativo prossimo allo zero, il valore di s.q.m. diminuisce considerevolmente a  $\pm 14$  m (rispetto ai  $\pm 54$  m iniziali).

In figura 8 sono invece riportati i parametri statistici delle differenze altimetriche suddivisi per classi di pendenza (figura 8a) ed esposizione dei versanti (figura 8b).

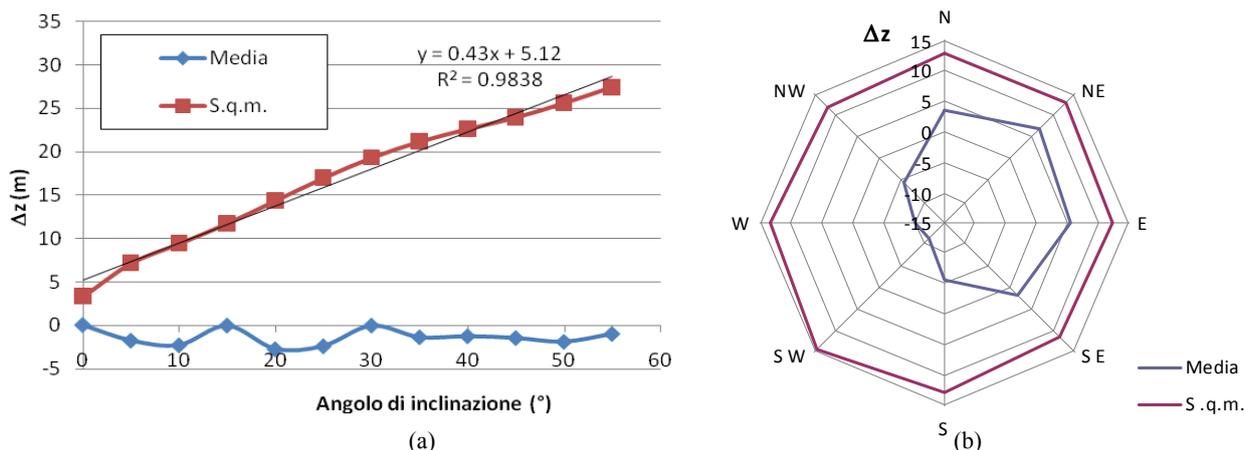


Figura 8: Andamento di media e s.q.m. in funzione dell'angolo di inclinazione (a) e dell'esposizione dei versanti (b) dopo l'applicazione della traslazione planimetrica per ridurre l'errore di georeferenziazione

Anche in questo caso i miglioramenti ottenuti dall'applicazione degli spostamenti correttivi sono significativi:

- a) la dipendenza della precisione altimetrica  $\sigma_z$  dall'angolo di inclinazione  $\alpha$  risulta essere ( $R^2$  pari a 0.984):

$$\sigma_{z, 98\%} = \pm (5.12 + 0.43\alpha)m$$

con valori massimi inferiori di circa un ordine di grandezza;

- b) la precisione altimetrica mantiene un andamento costante con il variare dell'esposizione dei versanti, con un valore medio di s.q.m. pari a 13 m (riportato con linea nera tratteggiata nel grafico di figura 6b). Persiste un sistematismo nella distribuzione della media, di entità nettamente inferiore rispetto al precedente, imputabile sia alla scelta di utilizzare i valori medi dei parametri correttivi ottenuti sia alla geometria di acquisizione dei dati SAR.

Un confronto qualitativo delle precisioni altimetriche ottenute utilizzando i dati originali (figura 9a) e quelli in cui è stato minimizzato l'errore di georeferenziazione (figura 9b) consente di meglio apprezzare il significativo miglioramento dei risultati. Le due figure riportano la distribuzione delle differenze di quota nel territorio piemontese raggruppate nelle 4 classi definite in legenda: risulta evidente come gli errori maggiori, in entrambi i casi localizzati nelle aree montane, diminuiscano sensibilmente sia in valore assoluto sia in frequenza.

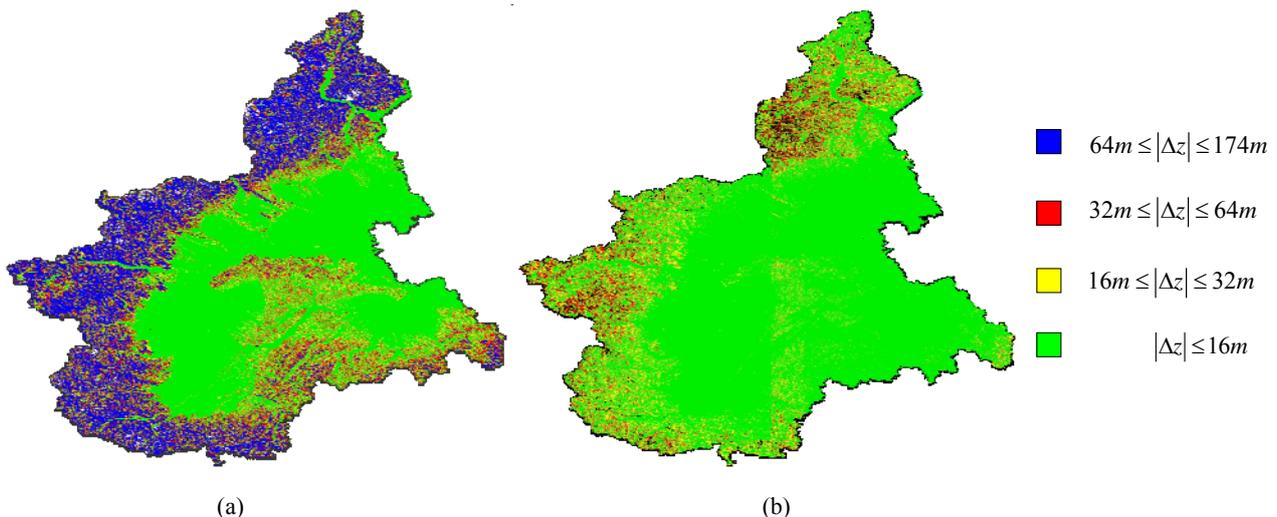


Figura 9: Distribuzione delle differenze altimetriche su tutto il territorio regionale prima (a) e dopo (b) l'applicazione della traslazione planimetrica per ridurre l'errore di georeferenziazione

## 5. CONCLUSIONI

La validazione condotta sul DSM SRTM con risoluzione di 3'' consente di stabilire che la precisione verticale assoluta è pari a circa  $\pm 16$  m a scala regionale, confermando alcuni studi effettuati in altre nazioni.

Risulta però limitativo utilizzare un valore costante per definire la precisione altimetrica, essendone stata verificata la dipendenza dalla pendenza della superficie. Conseguentemente si è deciso di esprimere la precisione come una funzione lineare della pendenza  $\alpha$ , che nel caso del dato SRTM risulta essere  $\sigma_{z, 98\%} = \pm (5.12 + 0.43 \alpha)m$ .

Tali risultati, sicuramente ottimi rispetto ai possibili ambiti applicativi considerati nelle premesse del presente lavoro, sono però stati ottenuti grazie ad un affinamento della georeferenziazione del dato SRTM. Purtroppo gli spostamenti correttivi non sono risultati costanti su tutta l'area considerata: è quindi probabile che una semplice traslazione planimetrica non sia sufficiente a modellizzare l'errore di georeferenziazione in riferimento ad zone di territorio superiori all'ambito regionale.

Sarebbe auspicabile individuare delle procedure semi automatiche finalizzate all'affinamento della georeferenziazione a scala globale, per permetterne un efficace utilizzo anche nelle aree per le quali non siano disponibili dati di riferimento come quello utilizzato in questo contributo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Gorokhovich Y., Voustantiouk A. 2006. Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics. In: *Remote Sensing of Environment*, 104 (2006) 409-415

Yastikli, N., Koçak, G., Büyüksalih, G., 2006. Accuracy and morphological analyses of GTOPO30 and SRTM x - c band DEMs in the test area Istanbul. In: *ISPRS Commission I WG I/5 Symposium*, Istanbul, 2006: pages 6

Boccardo, P., Borgogno Mondino, E., Giulio Tomolo, F., Lingua, A., Bellone, T.,(2005). Generazione di DSM da immagini satellitari stereoscopiche: primi risultati e validazioni. In: *Bolettino SIFET*, n. 3 - 2004,ISSN 0392-4424, pp. 157-169

Gonçalves, J., Fernandes, J., 2005. Assessment of SRTM-3 DEM in Portugal with topographic map data. In: *EARSeL 2005 Workshop*, Hannover, 2005: pages 7

Jacobsen, K., 2005: Analysis of SRTM Elevation Models: In: *EARSeL 3D\_Remote Sensing Workshop*. Porto, 2005, 7 S., CD

Boccardo, P., Bellone, T., Borgogno Mondino, E., Giulio Tonolo, F., Perotti L., 2004. Valutazione di DSM derivati da immagini satellitari stereoscopiche mediante software commerciali. In: *Atti VIII Conferenza Nazionale ASITA*, Roma (Italia), Dicembre 2004, ISBN 8890094362, pp. 461-466

Borgogno Mondino, E., Giulio Tonolo, F., Boccardo, P., Bellone, T. (2004). DTMs generation from satellite stereo images: accuracy tests in mountain region, In: *11th SPIE International Symposium on Remote Sensing*, Gran Canaria (Spagna), Settembre 2004, ISBN 0-8194-5521-0, pp. 341-350

Baiocchi V., Crespi M.G., Del Lorenzo C., (2002). Trasformazioni di datum e di coordinate per scopi cartografici: analisi delle prestazioni di alcuni software. In: *Atti della VI Conferenza Nazionale ASITA - Perugia*, 5-8 Novembre 2002, vol. 1: 261-265.

Roth, M., Eineder, B., Rabus, E., Mikusch, B., Schättler, 2001. SRTM / X-SAR: Products and Processing Facility. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International

Comoglio, G., Lingua, A., 2000. Metodologia per il controllo di qualità di un DEM. *Rivista del Dipartimento del territorio*, 2/2000, pp. 75-88

SRTM\_Topography, 2005, <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/documentation>

SRTM Data Editing Rules, 2003, <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/documentation>

Performance specification Digital Terrain Elevation Data (DTED), 1996, <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/documentation>

USGS, 2004. [http://seamless.usgs.gov/website/seamless/faq/srtm\\_faq.asp](http://seamless.usgs.gov/website/seamless/faq/srtm_faq.asp) (visitato Giugno 2007).

JPL, [www2.jpl.nasa.gov/srtm/STRM\\_paper.pdf](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/STRM_paper.pdf)

JPL, [www2.jpl.nasa.gov/srtm/STRM\\_D31639.pdf](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/STRM_D31639.pdf)