

Produzione di DEM su scala nazionale a specifiche DTED-2 da dati SAR SRTM-X e ERS

Mario COSTANTINI(*), Federico MINATI(*), Elisabetta ZAPPITELLI(*), Paolo CASTRACANE(**), Paolo PASQUALI(***), Fabio VOLPE(****), Rob VEROHEVEN (*****), Carlo PERUGI (*****), Frank Martin SEIFERT (*****),

(*) Telespazio S.p.A., Via Cannizzaro 71 00156 Roma, Tel:+39 06 4079 6445, Fax:+39 06 4099 9268,
mario_costantini@telespazio.it

(**) ACS S.p.A., Via della Bufalotta 378 00139 Roma, Tel:+39 06 87090921, Fax:+39 06 87201502,
p.castracane@acsys.it

(***) SARMAP S.A., Cascine di Barico 6989 Purasca (Switzerland), Tel:+41 91 600 93 66, Fax:+41 91 600 93 69,
paolo.pasquali@sarmap.ch

(****) Eurimage S.p.A, Via E. D'Onofrio 212 00155 Roma, Tel. +39 06 40694220, Fax + 39 06 40694232,
volpe@eurimage.com

(*****) SYNOPTICS, Synoptic, Costerweg 1k 6702 AA Wageningen - The Netherlands, Tel: +31 317 421 221, Fax:
+31-317-416-146, r.verhoeven@synoptics.nl

(*****) IGM, Via C. Battisti 10 50100 FIRENZE, Tel: 055-2732-208,
caserv1foto@geomil.esercito.difesa.it

(*****) ESA ESRIN D/EOP-SEP, Via Galileo Galilei I-00044 Frascati (Roma), Tel.:+39 06-941-80560, Fax:+39 06-941-80552 frank.martin.seifert@esa.int

Riassunto:

Con il progetto DUDES (Digital Elevation Model with ERS and SRTM data) si è dimostrato di poter ottenere modelli digitali di elevazione del terreno (DEM) di alta qualità su scala nazionale, utilizzando i prodotti SRTM-X e i dati SAR tandem delle missioni ERS-1 e ERS-2. Tale DEM ha delle potenzialità commerciali e soddisfa i requisiti di potenziali utenti interessati in un prodotto accurato e omogeneo.

Sono state sviluppate nuove tecniche di fusione che permettono di integrare il DEM SRTM-X con il DEM ERS, consentendo la correzione degli errori sistematici presenti nei differenti DEMs di partenza.

I risultati ottenuti su alcune aree di test selezionate in Italia e Svizzera, caratterizzate da una diversa morfologia e copertura del terreno, attraverso il confronto con dati di riferimento di Enti Geografici Nazionali, sono stati soddisfacenti, dimostrando che i DEMs DUDES finali, nella maggior parte dei casi, hanno un'accuratezza in accordo con le specifiche DTED-2 e migliore dei DEMs ERS e SRTM-X di origine.

Attualmente si sta proseguendo con la realizzazione di un DEM di tutto il territorio italiano e svizzero.

Abstract

The DUDES project (Digital Elevation Model with ERS and SRTM data) has demonstrated to produce homogeneous Digital Elevation Models (DEM) of high quality on national scale, using the SRTM-X products and the SAR tandem data from the ESA ERS missions (ERS-1 and ERS-2). The DEM satisfies the requirements of several users interested in an accurate and homogeneous DEM and shows commercial potential.

New fusion techniques for the integration of the SRTM-X DEM with the ERS DEM were developed, allowing the correction of systematic errors in the individual original DEMs.

The results obtained over selected areas in Italy and Switzerland, with different morphology and land cover, performed by means of the comparison with reference data of National Mapping Agencies, were satisfying, showing that the final DUDES DEMs have an accuracy mainly within the DTED-2 specifications and better than the single ERS and SRTM-X DEMs.

The DEM production over entire Italy and Switzerland is currently in progress.

Introduzione

Il modello digitale del terreno (DEM) è un prodotto relativamente recente ed i diversi DEM attualmente disponibili sul mercato, prodotti e distribuiti da soggetti diversi, hanno caratteristiche tecniche eterogenee e sono spesso relativi ad aree limitate.

Nell'ambito del progetto DUDES (DUP Digital Elevation Model with ERS and SRTM data), che rientra nel programma ESA-DUP 2 (Data User Programme - Phase 2) e al quale partecipa un consorzio internazionale di cui Telespazio è *prime contractor*, si è esplorata la possibilità di generare modelli digitali di elevazione del terreno di grandi aree (a scala nazionale) utilizzando i dati SAR in banda X della missione SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e i dati SAR tandem delle missioni ERS-1 e ERS-2.

Scopo del progetto è ottenere DEM caratterizzati da una risoluzione di 1-arcsec (approssimativamente 30 m) e un'accuratezza verticale assoluta minore di 18 m (al 90% di confidenza) in accordo con le specifiche DTED-2 (Digital Terrain Elevation Data standard della NGA, USA), che costituiscano un prodotto commerciale in grado di soddisfare i requisiti di potenziali utenti di settori di mercato interessati a un DEM accurato e omogeneo su scala nazionale (e.g. l'ortorettificazione di dati satellitari, la geomorfologia, l'ecologia, la geologia, la gestione del traffico aereo, la climatologia, la multimedialità).

Nel lavoro verranno prima descritte le metodologie di realizzazione dei DEM, che prevedono l'elaborazione interferometrica dei dati SAR ERS e SRTM, e la combinazione dei vari DEM ottenuti. In particolare, una tecnica di fusione che permette la correzione degli errori sistematici presenti nei differenti DEMs di partenza è stata sviluppata da Telespazio ed applicata all'area italiana. Quindi verranno descritte la metodologia e i risultati della validazione dei DEM prodotti su alcune aree di test selezionate in Italia e in Svizzera.

Metodologie di elaborazione

Il sistema di elaborazione per la produzione del DEM DUDES consiste in:

- Processori interferometrici (cfr. P.A. Rosen et al., 2000), sviluppati da ACS e SARMAP per l'Italia e la Svizzera rispettivamente, che utilizzano le coppie tandem SAR/ERS ed un eventuale DEM di riferimento a bassa risoluzione per la produzione del DEM ERS. I DEM ERS prodotti dalle singole coppie vengono successivamente fusi utilizzando metodologie differenti. Particolarmente utile si è rilevata la sovrapposizione combinata di DEM ottenuti da coppie ascendenti e discendenti (DU et al., 2003; Ferretti et al., 1999; P. Pasquali, 1994).
- Un processore per la radargrammetria da dati ENVISAT, sviluppato da SYNOPTICS, che fornisce DEM e punti di controllo (GCP) per integrazione e calibrazione dell'elaborazione interferometrica.
- Un processore per la fusione e il mosaico di DEM differenti che permette la correzione degli errori sistematici verticale ed orizzontali. La tecnica proposta utilizza le informazioni contenute nell'area di sovrapposizione tra i vari DEM per determinare una trasformazione "smooth e regolare" dei DEM tale da rendere minime le loro differenze. Si ottiene così una stima degli errori verticali ed orizzontali sistematici anche nelle zone dove non si ha sovrapposizione. Tale processore è stato sviluppato da Telespazio ed utilizzato per il DEM italiano.

Le tecniche interferometriche utilizzate sono state ottimizzate per quelle zone che, a causa di orografia caratterizzata da rilievi e pendenze elevate, presentano maggiori problemi nel *phase unwrapping*. Dato che una copertura totale del territorio di interesse è garantita unicamente dai dati ERS la loro selezione deve essere accurata ed è effettuata considerando solo coppie ERS tandem (differenza temporale di un giorno) con una *baseline* ottimale compresa nel range (80-200) m. L'utilizzo di copertura multipla e uso alternato di coppie ascendenti e discendenti è inoltre

consigliato per le zone caratterizzate da rilievi e pendenze elevate per migliorare le caratteristiche geometriche del sensore SAR/ERS ed aumentare l'accuratezza del prodotto. In caso di disponibilità di più coppie con *baseline* spaziale ottimale il periodo dell'anno e la copertura nuvolosa fornisce un ulteriore criterio di scelta al fine di limitare la presenza di artefatti atmosferici.

Modelli digitali del terreno generati con dati e tecniche di elaborazione differenti (interferometria, radargrammetria, fotogrammetria, etc.) sono spesso non omogenei ed affetti da errori sistematici (localizzazione verticale ed orizzontale assoluta) oltre che da rumorosità locale. La procedura di fusione, sviluppata da Telespazio, permette un sostanziale miglioramento rispetto alle procedure di mosaico tradizionali che tentano di ridurre gli artefatti solo ai bordi delle aree di sovrapposizione, producendo un risultato apparentemente corretto ma dove gli errori sistematici causa dell'artefatto non sono stati rimossi. La tecnica di fusione proposta permette invece di rimuovere gran parte degli errori sistematici verticali e orizzontali, e di ottenere un DEM più accurato di ciascuno dei DEM di partenza, anche nelle zone dove non c'è sovrapposizione.

Metodologia di validazione

L'attività di validazione dei DEMs prodotti si effettua attraverso il confronto con dati di riferimento ad alta risoluzione di Enti Geografici Nazionali e comprende:

- la coregistrazione tra il DEM in esame ed il DEM di riferimento per stimare l'errore orizzontale;
- il confronto tra le altezze calcolate nei due DEM.

L'accuratezza del DEM finale viene stimata in accordo con le specifiche DTED-2.

Per stimare le accuratèzze orizzontali il singolo DEM è suddiviso in sub-aree (*patches*) che vengono co-registrate con il DEM di riferimento e alle quali è associato uno spostamento locale $\delta = |P_m - P_T|$ (P_m è il valore del punto misurato e P_T è il valore del punto di riferimento). Quindi:

- si calcola l'errore assoluto orizzontale circolare come il massimo spostamento δ tra il DEM da validare e quello di riferimento, al 90% di confidenza, scartando quindi il 10% dei punti peggiori;
- si calcola l'**errore relativo orizzontale circolare** (non richiesto dalle specifiche DTED-2) secondo la formula $\delta' = |P_m - P_T| - \langle |P_m - P_T| \rangle$, (dove il simbolo $\langle \rangle$ denota il valore medio della quantità inclusa), sempre al 90% di confidenza, scartando quindi il 10% dei punti peggiori.

Per la stima delle accuratèzze verticali, si utilizza la differenza tra il DEM prodotto e quello di riferimento, $d = H_m - H_T$ (H_m è il valore dell'altezza misurata e H_T è il valore dell'altezza di riferimento), precedentemente co-registrati in modo da evitare confusione tra errori orizzontali e verticali.

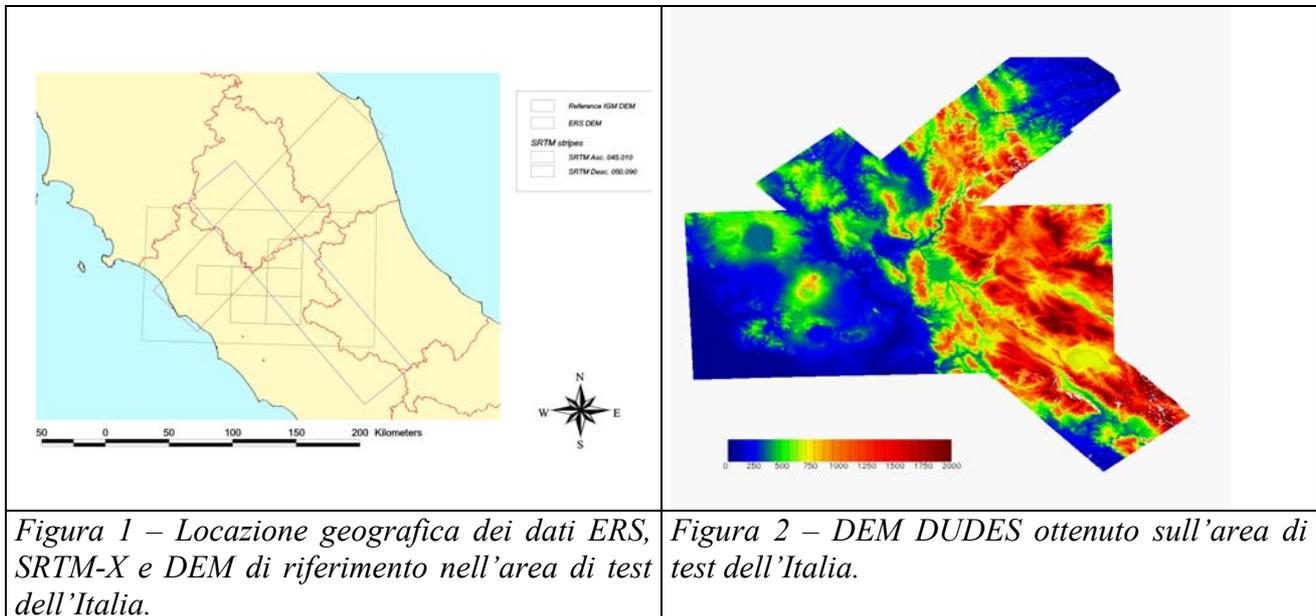
Si procede quindi con il calcolo degli errori internamente ad una ROI selezionata per mascherare le aree invalide:

- l'**errore assoluto verticale** è calcolato come la massima differenza d tra il DEM da validare e quello di riferimento, al 90% di confidenza, escludendo quindi il 10% dei punti peggiori;
- si calcola l'**errore relativo verticale** secondo la formula $d' = H_m - H_T - \langle H_m - H_T \rangle$, sempre al 90% di confidenza, scartando quindi il 10% dei punti peggiori.

Risultati ottenuti sull'area di test in Italia

Il DEM prodotto sull'area di test del centro Italia, al confine tra il Lazio Settentrionale e l'Umbria, caratterizzata da diverse morfologie che comprendono aree pianeggianti vicino al mare, colline e zone montuose appenniniche (Figura 1), è stato ottenuto dal sistema che comprende il processore interferometrico di ACS e la procedura di mosaico sviluppata da Telespazio.

La validazione è stata effettuata attraverso il confronto con un DEM ad alta risoluzione fornito dall'Istituto Geografico Militare (IGM). Questo DEM, di qualità molto maggiore del classico DEM IGM disponibile commercialmente su tutta l'Italia, è caratterizzato da una griglia di (15x15)m e da un'accuratezza sia verticale che orizzontale di 1.30 m (*Root Mean Square*).



I risultati dei test di validazione, effettuati sia per i DEM ERS e SRTM-X che per il DEM DUDES ottenuto dalla loro fusione (Figura 2), sono riportati in Tabella 1.

Accuratezza	Specifiche DTED-2	ERS	SRTM-X Asc.	SRTM-X Desc.	DUDES ¹
Errore orizzontale circ. assoluto (al 90% di conf.) [m]	< 23	23.2	15.6	16.6	14.6
Errore orizzontale circ. relativo (al 90% di conf.) [m]		23.3	6.6	4.5	13.3
Errore verticale assoluto (al 90% di conf.) [m]	< 18	13.8	10.2	14.1	9.7
Errore verticale relativo (al 90% di conf.) [m] (per punti con pendenza < 20%) (32% dell'area totale)	< 12	10.2	5.8	6.7	8.2
Errore verticale relativo (al 90% di conf.) [m] (per punti con pendenza > 20%) (68% dell'area totale)	< 15	16.9	9.9	13.5	11.6

Tabella 1 – Risultati della validazione dei DEM DUDES, ERS e SRTM-X sull'area di test dell'Italia.

Risultati ottenuti sull'area di test in Svizzera:

Il DEM prodotto sull'area selezionata nel nord-ovest della Svizzera (Figura 4), che presenta un'escursione di quota tra 400 e 1600 m, è stato invece ottenuto attraverso il sistema di elaborazione sviluppato da SARMAP.

¹ Ottenuto applicando la procedura di fusione che permette di ridurre gli errori sistematici.

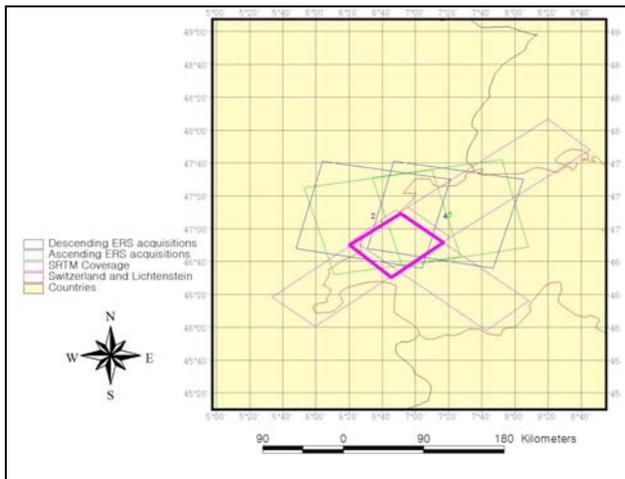


Figura 3– Dati ERS ed SRTM nell’area di test della Svizzera

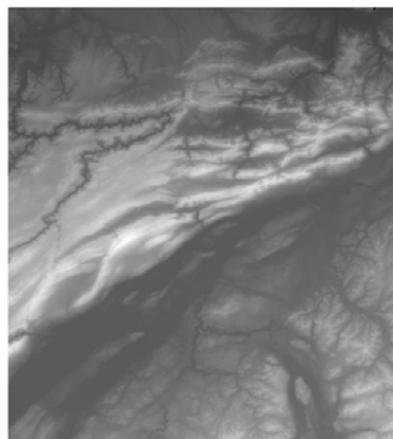


Figura 4 - DEM DUDES nell’area di test della Svizzera.

La validazione è stata effettuata utilizzando un DEM (DHM25) ad elevata accuratezza (tra 1 e 3m) fornito dal Servizio Cartografico Nazionale Svizzero (SwissTopo) e cartine nazionali digitali 1:50'000. In particolare, le cartine topografiche sono state utilizzate per mascherare le aree boschive, dove l’informazione del DEM DUDES (modello della superficie) e del DEM di riferimento (modello del terreno) è in partenza differente. I risultati di tale validazione sono riportati in Tabella 2.

Accuratezza	Specifiche DTED-2	DUDES
Errore orizzontale circ. assoluto (al 90% di conf.) [m]	< 23	<25
Errore verticale relativo(al 90% di conf.) [m]	< 12	11.2
Errore verticale assoluto(al 90% di conf.) [m]	< 18	11.4

Tabella 2 – Risultati ottenuti dalla validazione del DEM DUDES nell’area di test della Svizzera.

Una sezione ottenuta lungo lo stesso profilo dal DEM di riferimento, dal DEM SRTM-X e dal DEM DUDES è mostrata in Figura 5. Da questo profilo d’esempio si può notare la più alta risoluzione spaziale del DEM DUDES rispetto agli altri due prodotti.

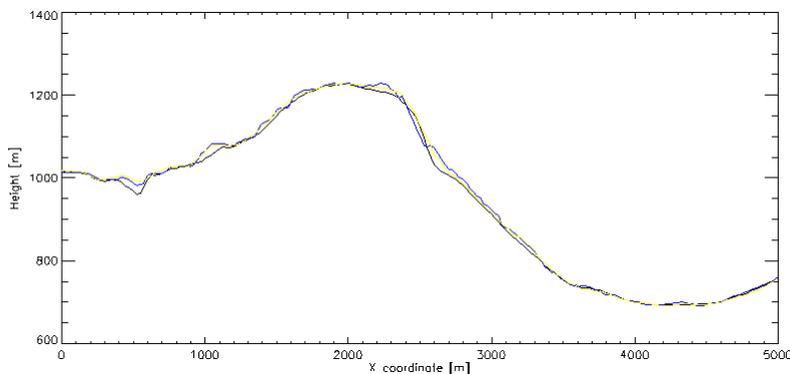


Figura 5- Sezione del DEM di riferimento (nero), DEM SRTM-X (giallo) e DEM DUDES (ciano).

Conclusioni:

I risultati ottenuti nell’ambito del progetto DUDES su alcune aree selezionate in Italia e Svizzera, attraverso la validazione con DEM ad alta risoluzione, sono stati soddisfacenti dimostrando che i

DEMs DUDES finali, nella maggior parte dei casi, hanno un'accuratezza in accordo con le specifiche DTED-2 e migliore dei DEMs ERS e SRTM-X di origine. Le aree problematiche rimangono quelle costituite da terreni con pendenze molto elevate e ricoperti da una vegetazione molto fitta, che sono comunque indicate nella mappa degli errori associate al prodotto.

In particolare, i test di validazione sull'area italiana, hanno dimostrato la validità e la robustezza della tecnica di fusione sviluppata da Telespazio che permette la correzione degli errori sistematici presenti nei differenti DEMs di partenza dai quali è ottenuto il prodotto finale.

Attualmente si sta procedendo alla realizzazione di un DEM su tutto il territorio italiano e svizzero. Nella parte finale del progetto verrà inoltre svolta un'attività di qualificazione con un gruppo di utenti che, attraverso l'utilizzo di campioni del DEM per le loro applicazioni, possano fornire anche un *feedback* su esso che permetta una migliore rifinitura del prodotto finale adeguandolo il più possibile alle loro necessità operative.

Il sistema di elaborazione di DUDES potrà quindi produrre DEM omogenei su aree di grandi dimensioni quasi in tutto il mondo.

Riferimenti Bibliografici

Y. Du, P.W. Vachon, and J. J. van der Sanden (2003), "Satellite Image fusion with multiscale wavelet analysis for marine applications: preserving spatial information and minimizing artifacts (PSIMA)" ,*Can. J. remote Sensing*, Vol. 29, No. 1, pp 14-23

A. Ferretti, C. Prati, and Fabio Rocca (1999), "Multibaseline InSAR DEM Reconstruction: The Wavelet Approach", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 37, NO. 2

MIL-PRF-89020B US National Geospatial-Intelligence Agency (NGA former NIMA) document

P. Pasquali, R. Pellegrini, C. Prati, F. Rocca (1994), "Combination of interferograms from ascending and descending orbits", *IGARSS 94*, Vol. 2, pp. 733-735

P.A. Rosen, S. Hensley, I.R. Joughin, F.K. Li, S.N. Madsen, E. Rodriguez, R.M. Goldstein (2000), "Synthetic aperture radar interferometry", *Proceedings of the IEEE*, Volume: 88 Issue: 3 , Page(s): 333 -382