

NUOVE TECNICHE PER LA GENERAZIONE DI DEM DA MOLTEPLICI OSSERVAZIONI SAR SATELLITARI

Alessandro Ferretti⁽²⁾, Daniele Perissin⁽¹⁾, Claudio Prati⁽¹⁾, Fabio Rocca⁽¹⁾

⁽¹⁾ Politecnico di Milano, Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
daniele.perissin@polimi.it

⁽²⁾ Tele-Rilevamento Europa (TRE), Via V. Colonna 7, 20149 Milano, Italy

Riassunto

Utilizzando un elevato numero di immagini SAR acquisite da satellite a risoluzione medio-bassa (circa 25m x 5m a terra nel caso di ERS ed Envisat) è possibile ricavare la posizione 3D di bersagli che mantengono immutata nel tempo la propria firma elettromagnetica (Permanent Scatterers, PS) con precisione nell'ordine del metro. Nell'ottica di generare mappe digitali di elevazione (DEM) su vaste aree (fino a 100km x 100km), lo svantaggio principale della tecnica PS è la limitata densità spaziale di punti di misura che si rivelano stabili nell'intero arco temporale delle immagini analizzate in aree non urbanizzate (centinaia di PS al km² in ambito urbano, fino a poche unità in aree vegetate). In questo lavoro due differenti soluzioni al problema vengono descritte mostrando i principali risultati ottenuti. La prima consiste nella combinazione dei risultati di analisi PS da dati acquisiti da differenti geometrie sulla stessa area a terra. Bersagli urbani multi-sensore rendono possibile infatti una geocodifica relativa dei dati rilevati con precisione metrica, e la densità di punti di misura raggiunta permette di apprezzare, in ambito urbano, i dettagli della struttura di singoli edifici. L'altra soluzione analizzata prevede l'uso combinato delle misure PS (precise su griglia sparsa) con tecniche interferometriche standard (meno precise dei PS, ma su griglia regolare). I risultati ottenuti sono stati messi a confronto con dati SRTM e, nella zona urbana di Milano, con diverse migliaia di punti quotati ricavati da restituzione aerofotogrammetrica, verificando l'elevato grado di accuratezza della quota dei PS (inferiore al metro).

Abstract

By means of a high number of archived spaceborne SAR images with a slight low resolution (about 25m x 5m for ERS and Envisat) it is possible to estimate the 3D location of targets that show an unchanged electromagnetic signature (Permanent Scatterers, PS) with a metric precision. In the attempt of generating Digital Elevation Maps (DEM) of wide regions (up to 100km x 100km), the main drawback of the PS technique is the limited spatial density of targets that behave coherently during the whole observation span (hundreds of PS per squared km in urban site, up to few points in vegetated areas). In this work we describe different solutions for this problem by reporting the obtained results. The first one is the combination of different PS analysis of the same ground area from data taken with different acquisition geometries. Multi-sensor targets allow indeed a relative co-registration of the acquired data with metric precision, and the reached PS density shows in urban areas unexpected details that reveal, in some cases, the structure of the single building. The second solution consists of the combined use of PS measures (on a sparse set of points) together with standard interferometric techniques (less precise than PS but on a regular grid). The results obtained have been compared with SRTM data and, in the urban area of Milan, with the elevation of many thousands of points measured by photogrammetric techniques, showing high accuracy (less than 1m).

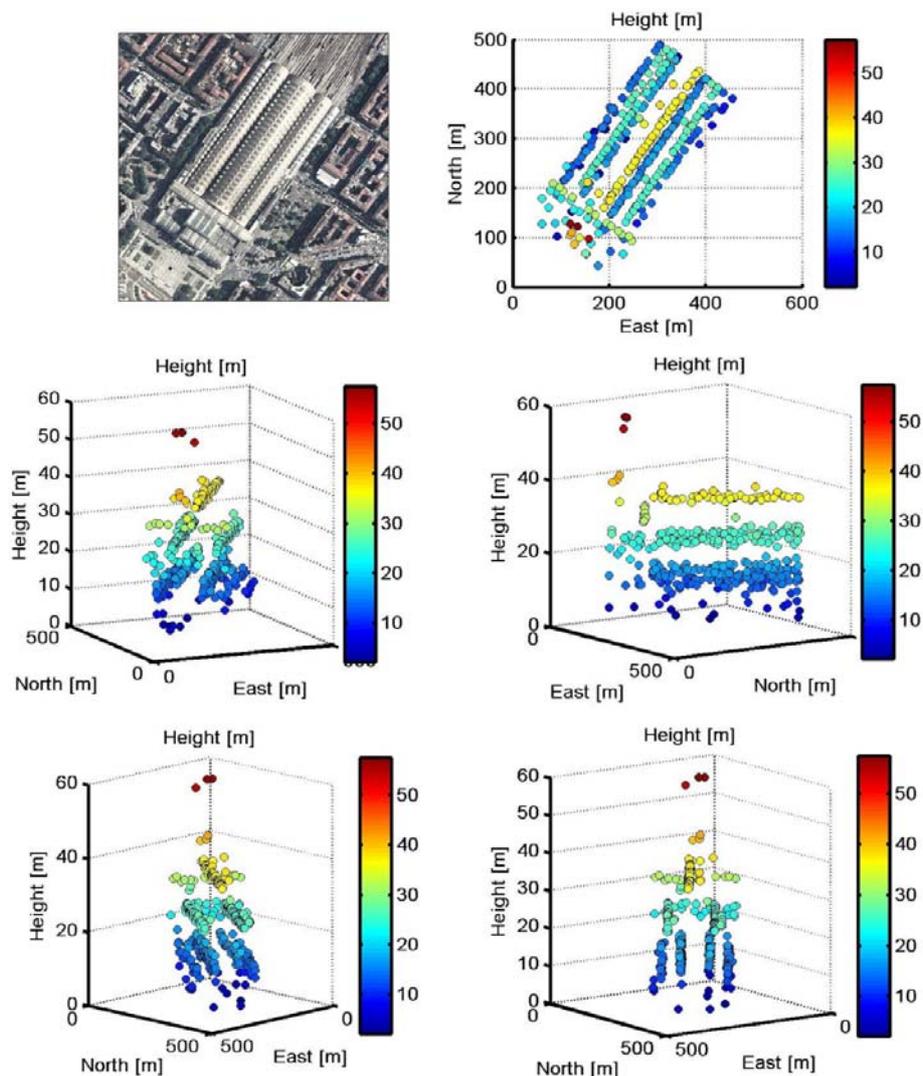


Figura 1 – ~250 PS identificati sulla stazione centrale di Milano da 2 orbite parallele discendenti ed una ascendente. In alto a sinistra: foto aerea. In alto a destra: coordinate planimetriche. Le altre 4 immagini sono rappresentazioni 3D dei PS (asse z, colore: quota dei PS).

Introduzione

La tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS) (Ferretti et al., 2001) è uno strumento di punta nel contesto dell'analisi interferometrica di dati radar ad apertura sintetica (SAR) (Curlander, McDonough, 1991). Essa utilizza lunghe serie di dati radar acquisiti con regolarità (tipicamente ogni 35 giorni) per studiare il movimento di singoli bersagli radar che mantengono immutata la propria firma elettromagnetica nel tempo. I valori di accuratezza raggiunti nella stima dello spostamento sono inferiori al millimetro (Savio et al., 2005). La tecnica PS è ampiamente utilizzata per il monitoraggio di deformazione del terreno (Dixon et al., 2006) e di stabilità di edifici (Ferretti et al., 2005), ed è inoltre oggetto continuo di ricerca (Perissin et al., 2006). Recentemente, l'attenzione è stata posta sulla capacità della tecnica PS di localizzare nello spazio 3D bersagli radar (Perissin, Rocca, 2005) per valutare la possibilità di generare mappe precise di elevazione del terreno. È infatti attualmente disponibile, a costi decisamente contenuti, un vasto archivio di dati radar acquisiti dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per mezzo dei satelliti ERS ed Envisat che copre la maggior parte della superficie del globo. Si tratta dunque di valutare l'accuratezza della stima della topografia raggiungibile mediante tali dati in rapporto all'accuratezza di dati globali a libero accesso quali SRTM (10m accuratezza verticale, 30m campionamento orizzontale negli USA, 90m nel resto del mondo) (Brown et al., 2005). Il limite principale della tecnica PS risiede nella bassa densità spaziale dei bersagli radar identificati in aree non urbanizzate

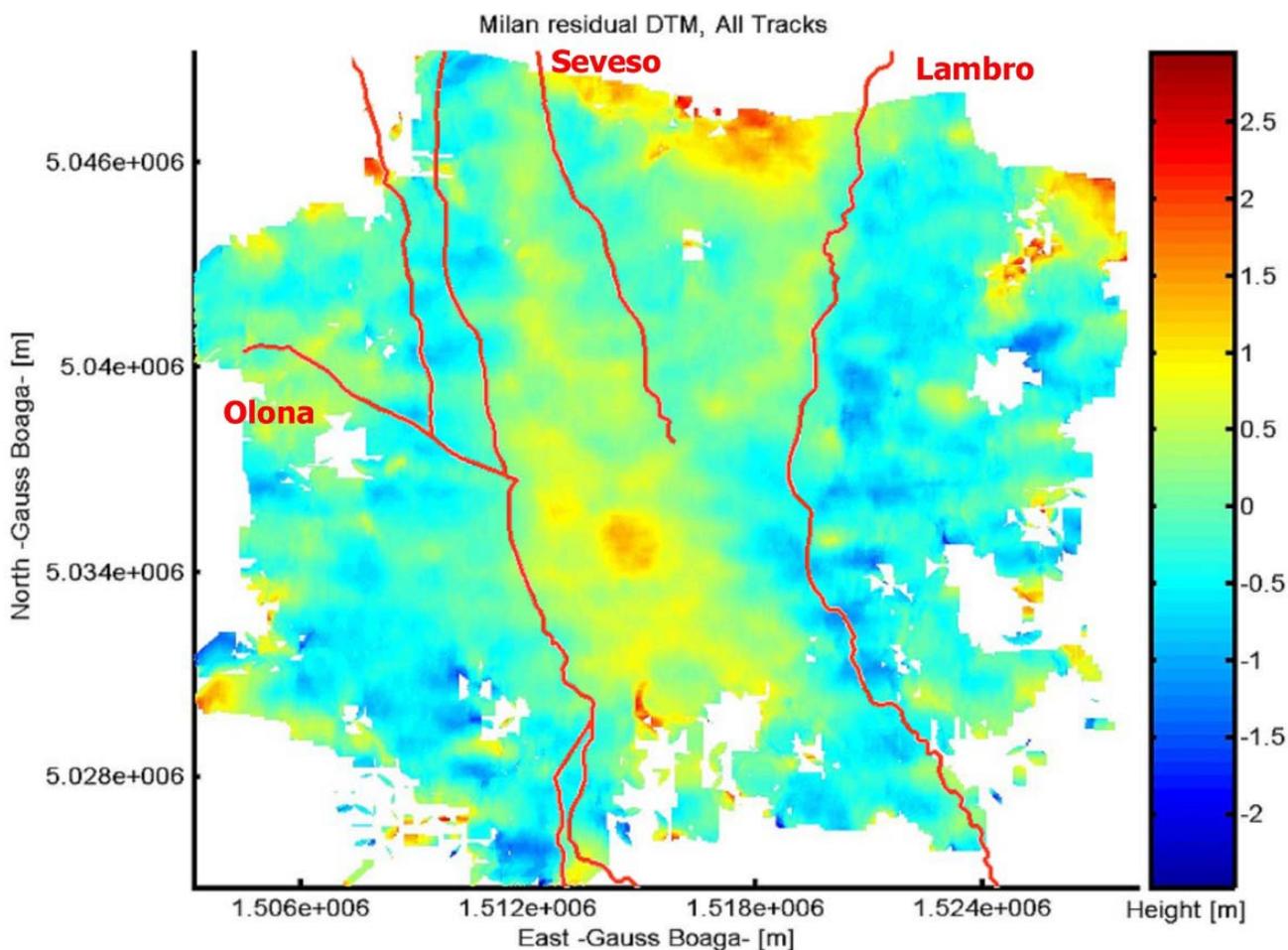


Figura 2 – DTM di Milano (dopo sottrazione superficie 2° ordine) ottenuto dai PS individuati da 2 orbite parallele discendenti ed una ascendente. In rosso: corsi d'acqua in Milano

(centinaia di PS al km² in ambito urbano, fino a poche unità in aree vegetate). Si riportano di seguito i principali risultati ottenuti da due possibili soluzioni al problema: la combinazione dei PS rilevati da differenti geometrie di acquisizione in una stessa area a terra e l'utilizzo congiunto di PS e di tecniche interferometriche standard.

Analisi PS multi-orbita

Recentemente è stato condotto uno studio sulla natura fisica dei PS che ha permesso di identificare bersagli radar urbani multi-orbita, quali diedri, triedri e pali (Ferretti et al., 2005). I pali in particolare (diedri visibili da una qualsiasi angolazione) si sono rivelati particolarmente preziosi per la coregistrazione fine di dati acquisiti da differenti orbite, sia ascendenti che discendenti. In Figura 1 si riportano i PS rilevati sulla stazione centrale di Milano da due orbite parallele discendenti ed una ascendente. L'elevata densità di punti individuati (circa 250) è tale da poter ricostruire il profilo della struttura.

Lo studio delle caratteristiche radar dei PS ha inoltre messo in luce la distribuzione delle quote dei PS in ambito urbano (Perissin, Rocca, 2005). Si è così scoperto che la maggior parte dei PS si trova a livello stradale e che questi PS possono essere identificati attraverso l'analisi del loro diagramma di retrodiffusione e della loro risposta a differenti polarizzazioni. Questo fatto può essere favorevolmente sfruttato per ricavare DTM urbani. In Figura 2 è riportato il DTM di Milano ricavato dai PS a terra identificati in 2 orbite discendenti ed una ascendente, per un totale di circa 60.000 PS in 400km². Nella mappa altimetrica di Figura 2 è stata rimossa una superficie di secondo ordine (con una escursione massima di circa 90 metri da Nord a Sud) per evidenziare alcuni dettagli

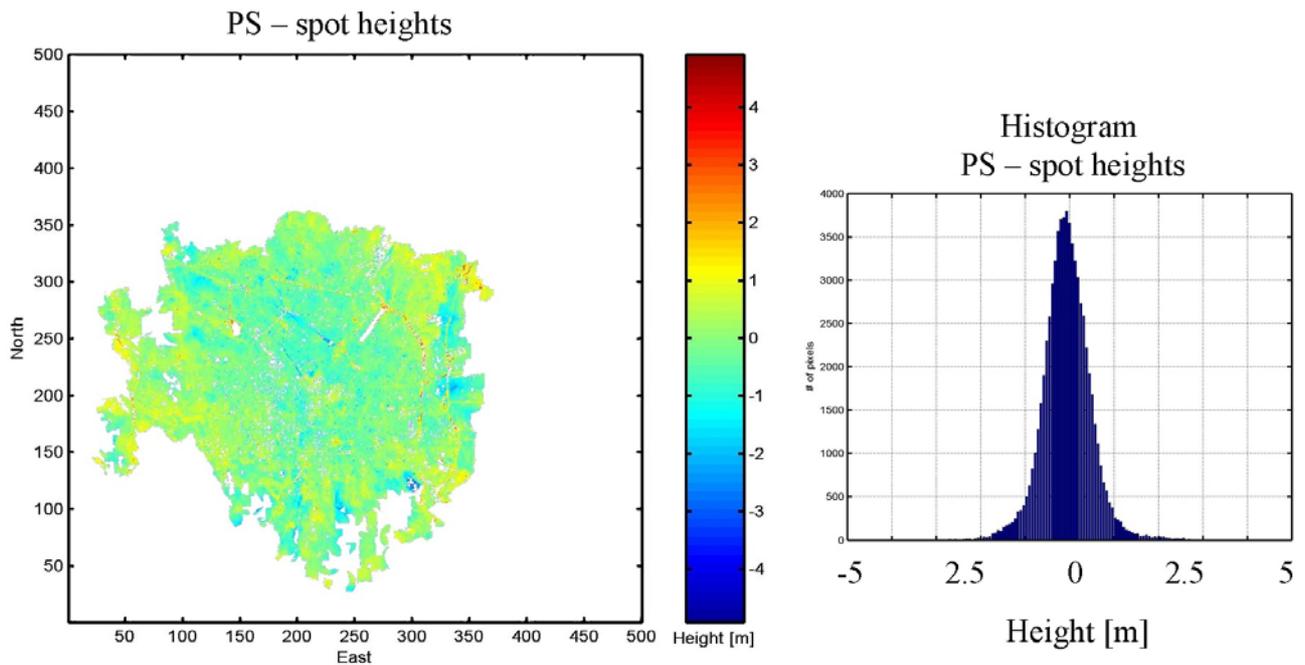


Figura 3 – Sinistra: differenza tra il DTM di Milano ricavato dai PS ed il DTM della stessa area ricavato da 250.000 punti quotati. Destra: istogramma dei valori differenza.

quali gli avvallamenti in blu ($\sim -1\text{m}$) nel DTM che corrispondono al corso dei principali fiumi e il lieve innalzamento centrale in rosso ($\sim +1\text{m}$) che corrisponde invece al centro storico di Milano. I risultati ottenuti sono stati confrontati con un DTM ricavato da 250.000 punti quotati a terra forniti dal Comune di Milano. In Figura 3 a sinistra si riporta la differenza tra il DTM ricavato dai PS e il DTM ricavato dai punti quotati in coordinate Gauss-Boaga e a destra l'istogramma delle differenze di quota. La discrepanza tra il dato PS ed i punti quotati ha una deviazione standard inferiore al metro. Lo stesso DTM ricavato dai punti quotati è servito poi a quantificare l'errore che si commette approssimando la topografia con un modello gratuitamente scaricabile da internet come SRTM. La Figura 4 è in tutto analoga alla precedente, ma il confronto è tra il DEM SRTM ed il DTM ottenuto dai punti quotati. La deviazione standard degli errori di quota del dato SRTM è maggiore di 5m. Inoltre, l'andamento asimmetrico dell'istogramma e la mappa degli errori di quota,

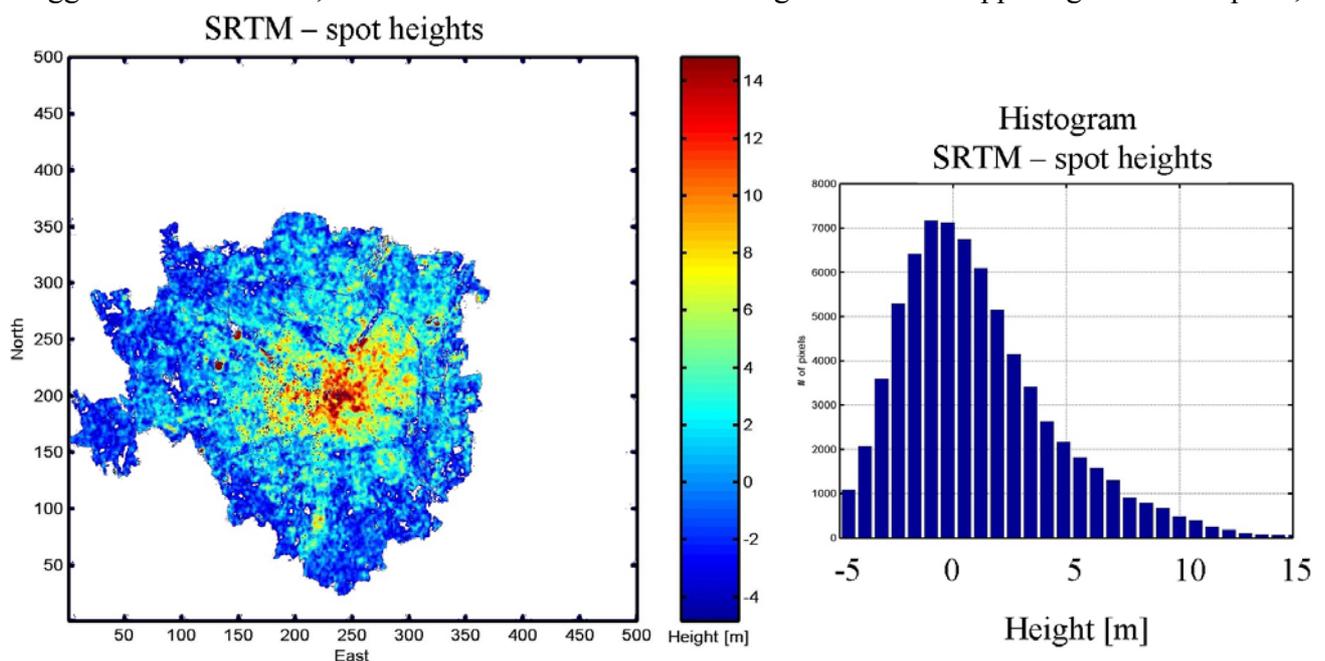


Figura 4 – Sinistra: differenza tra il DEM di Milano ricavato da dati SRTM ed il DTM della stessa area ricavato da 250.000 punti quotati. Destra: istogramma dei valori differenza.

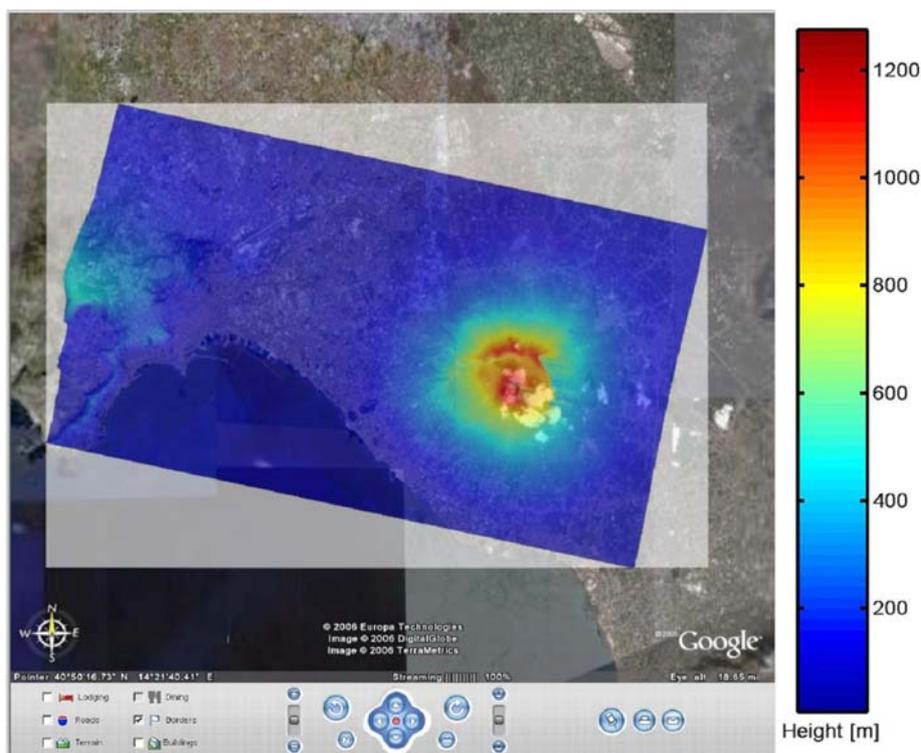


Figura 5 – DEM ricavato da analisi congiunta PS - interferometria standard dell'area contenente Napoli ed il Vesuvio, sovrapposto ad una immagine ottica di Google.

mostrano che il dato SRTM e' fortemente polarizzato dal profilo degli edifici soprattutto intorno al centro di Milano.

Analisi PS e interferometria standard

La seconda metodologia applicabile per la generazione di DEM da dati SAR da satellite consiste nell'utilizzo congiunto dei risultati di una analisi PS e di tecniche di interferometria standard, tramite le quali le misure di quota ricavate dalla tecnica PS possono essere infittite (Ferretti et al., 2006). Il limite principale dell'interferometria standard risiede nella presenza di disturbi legati alla concentrazione di vapore acqueo nell'atmosfera che inficiano l'accuratezza della stima della quota. Per mezzo della tecnica PS è però possibile stimare e rimuovere tali disturbi e dunque risalire dalla fase interferometrica alla topografia. Le Figure 5 e 6 riportano un esempio di applicazione di tale metodologia ad una zona che racchiude la città di Napoli ed il Vesuvio. In Figura 5 è mostrato il DEM ricavato per mezzo della descritta metodologia. Il particolare in Figura 6 mette invece in luce l'apporto del DEM SAR al DEM SRTM. La differenza tra i due mostra infatti che il DEM SAR ha una maggior capacità di dettaglio (si noti lo stadio e la gola che attraversa l'immagine da sinistra in basso a destra in alto), mentre perde coerenza in prossimità del mare.

Conclusioni

A valle degli esperimenti effettuati è possibile trarre alcune conclusioni di interesse pratico per la realizzazione di mappe digitali di elevazione del terreno. Per quanto riguarda l'ambito urbano, la disponibilità di numerose immagini SAR satellitari negli archivi dell'ESA consente di generare DTM urbani con precisione sub-metrica a costi contenuti. Non si raggiungono le precisioni offerte da altre tecniche (ad es. livellazione ottica, lidar, fotogrammetria aerea), ma i costi risultano enormemente inferiori. Fuori dall'ambito urbano è disponibile una precisione metrica solo su pochi punti per km², comunque sufficienti a rimuovere gli artefatti atmosferici presenti sui singoli interferogrammi SAR (la cui precisione non scende al di sotto di qualche metro). Pochi punti sparsi di misura precisa della quota offerti dai PS possono in ogni caso essere un valido ausilio alla mosaicatura di DEM ottenuti da molteplici passaggi di lidar aviotrasportati. Infine, il DEM fornito da SRTM (con precisione paragonabile a quella dei singoli interferogrammi satellitari una volta "de-atmosferizzati"), sebbene possa essere utilizzato per conoscere in prima approssimazione la topografia, rivela una consistente carenza di dettaglio.

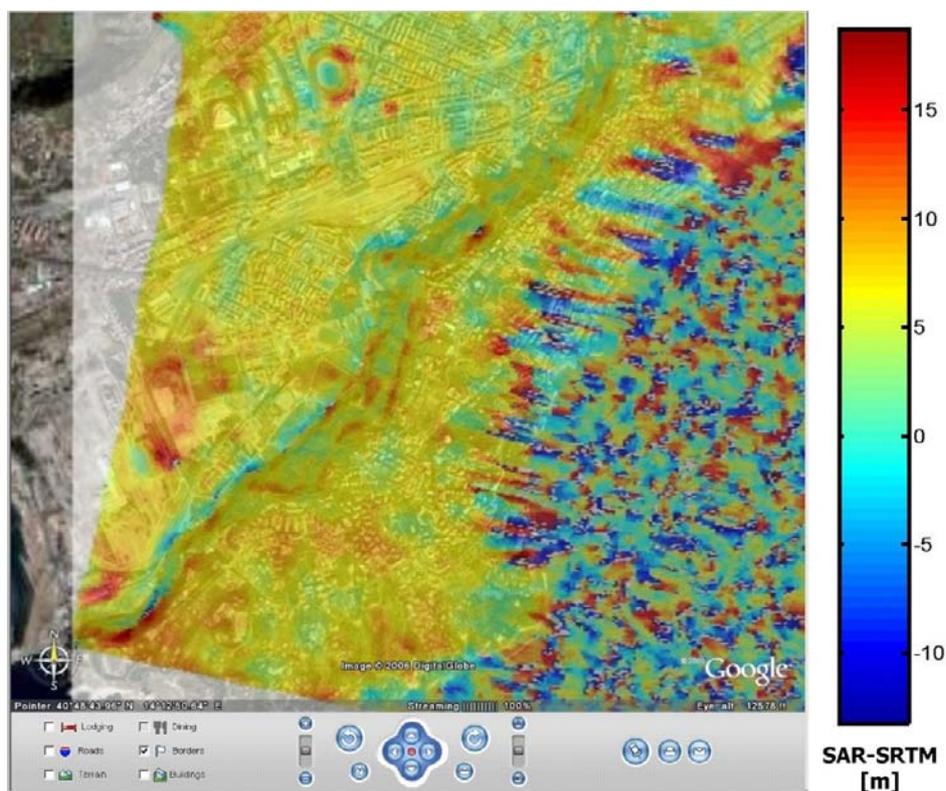


Figura 6 – Particolare della differenza tra il DEM ricavato da analisi congiunta PS - interferometria standard ed il DEM SRTM in un'area prossima a Napoli. Rispetto ad SRTM si nota una miglior risoluzione (lo stadio in alto e la gola obliqua) e la decorrelazione dovuta al mare a destra.

Ringraziamenti

Si ringrazia la divisione specialistica del Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.) del comune di Milano per aver messo a disposizione i dati relativi a circa 250.000 punti quotati nel proprio territorio. Si ringraziano in particolare l'ing. Piero Bonapace e il geometra Bruno Monti per la disponibilità.

Riferimenti bibliografici

- Brown, Jr. C. G., Sarabandi K. and Pierce L. E. (2005), "Validation of the Shuttle Radar Topography Mission Height Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, VOL. 43, NO. 8.
- Curlander J. C., McDonough R. N. (1991), "Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing", New York, John Wiley & Sons.
- Dixon T.H., Amelung F., Ferretti A., Novali F., Rocca F., Dokkas R., Sella G., Kim S.W., Wdowinski S., Whitman D. (2006), "Subsidence and flooding in New Orleans", Nature, Vol 441, pagine 587-588.
- Ferretti A., Parizzi A., Perissin D., Prati C., Rocca F. (2006), "Accurate DEM reconstruction from Permanent Scatterers and multi-baseline interferometry", Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS, Denver (Colorado).
- Ferretti A., Perissin D., Prati C., Rocca F. (2005), "Caratterizzazione dei punti di misura radar in ambito urbano per lo studio delle deformazioni", Conferenza nazionale ASITA, Catania.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", IEEE TGARS, Vol. 39, no. 1.
- Perissin D., Prati C., Engdahl M., Desnos Y.-L. (2006), "Validating the SAR wave-number shift principle with ERS-Envisat PS coherent combination", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Volume 44, Issue 9, Page(s):2343 - 2351.
- Perissin D., Rocca F. (2005), "Urban DEM", Proceedings of FRINGE, Frascati, Italia.
- Savio G., Ferretti A., Novali F., Musazzi S., Prati C., Rocca F. (2005) "PSInSAR Validation by means of a Blind Experiment Using Dihedral Reflectors" proceedings of FRINGE, Frascati, Italia.