

Stereoscopia ottica ASTER ed interferometria differenziale SAR a confronto

di Mario Gatti

Nel lavoro si presentano alcuni modelli digitali del terreno (DEM), alla scala nominale 100.000, realizzati attraverso immagini ASTER, immagini SAR e digitalizzazione di un foglio IGM della Carta d'Italia. I modelli sono stati messi a confronto in termini di tempi di realizzazione, costi e precisioni intrinseche. Inoltre, per ciascuno di essi, i valori in quota sono stati confrontati con quelli ottenuti direttamente sul terreno, con un sistema GPS NAVCOM ad una via.

Parole chiave: DEM, TIN, ASTER, SAR, GPS.

Il telerilevamento ottico e quello radar possono contare su un elevato numero di sensori, con un'ampia gamma di risoluzioni, ricoprimenti e rivisitazione dell'immagine. Di pari passo anche la rappresentazione morfologica automatizzata consente una visione immediata dell'andamento plano-altimetrico del terreno. In questo ambito risulta chiara l'importanza assunta dai DEM, acronimo di Digital Elevation Model o dei prodotti similari come il TIN o il DTM, che conferiscono un'immediatezza visiva tridimensionale della conformazione territoriale cartografata.

Il campo applicativo dei modelli tridimensionali è molteplice e può riguardare gli ambiti più svariati: individuazione di percorsi di viabilità stradale o ferroviaria, analisi della intervisibilità, determinazione di tracciati per la posa di condotte idrauliche, simulazioni per la valutazione dell'impatto ambientale

delle opere, ecc..

In questo contesto ricadono anche i modelli digitali alle scale nominali 1:100.000, che sono utilizzati prevalentemente per scopi ingegneristici, con particolare riferimento alle radiocomunicazioni, al tracciamento stradale ed alle analisi ideologiche e per scopi topografici come, ad esempio, il

raddrizzamento e l'ortoproiezione di immagini digitali per l'allestimento o l'aggiornamento rapido e a basso costo di cartografia, in zone di prive di mappe pre-esistenti.

Ciò premesso è parso interessante mettere a confronto alcuni modelli digitali del terreno, alla scala nominale 1:100.000, realizzati attraverso il telerilevamento ottico e il telerilevamento radar. In particolare si è posta l'attenzione al sensore ASTER ed a sensori ERS1 ed ERS2.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) è un satellite in orbita dal dicembre del 1999. Munito di un sensore multispettrale con 15 bande (compresa quella denominata 3B retro-osservante), dal visibile all'infrarosso termico e di un doppio telescopio, può generare stereocoppie con un ricoprimento fino a 60 kmq. Nel lavoro si è creato un DEM utilizzando le immagini derivanti dal sottosistema VNIR. A tali immagini è associata una risoluzione di 15 m per l'immagine bidimensionale e di 30 m per quella tridimensionale. Le immagini ASTER sono state elaborate con il software ENVI 4.0 attraverso il plug-in ASTER DTM.

ERS-1 ed ERS-2 sono invece due sensori radar. Sfruttando il principio dell'interferometria differenziale SAR, si sono elaborate due coppie tandem con il software ENVI 4.0, munito del plug-in Phasar 1.0, creando due ulteriori modelli digitali.

Un quarto DEM è stato prodotto digitalizzando un foglio alla scala 100.000 della Carta d'Italia.

I quattro modelli sono stati messi a confronto in termini di costi, tempi di realizzazione e precisioni intrinseche.

Infine i valori in quota di ciascun modello, sono stati confrontati con quelli ottenuti direttamente sul terreno, con un

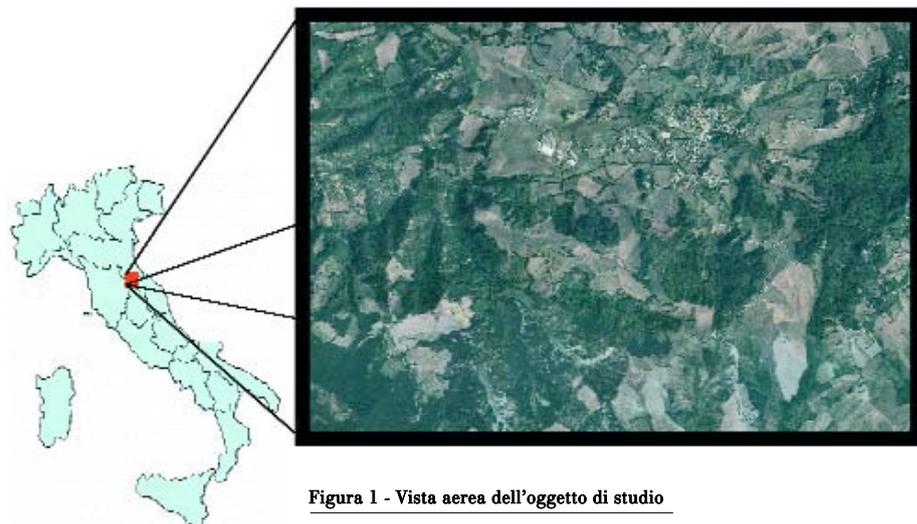


Figura 1 - Vista aerea dell'oggetto di studio

sistema GPS NAVCOM ad una via.

Il caso studiato

L'area di studio prescelta è stata individuata nella zona di S. Agata Feltria (Figura 1), tra le province di Pesaro e Urbino. Si tratta di un'area appenninica con una conformazione orografica articolata tra i fiumi Savio, a Nord e Marecchia, a Sud. I dislivelli oscillano tra i 350 m e i 950 m.

DEM da cartografia esistente

Un primo DEM è stato prodotto per digitalizzazione delle curve di livello del foglio IGM n° 108, denominato Mercato Saraceno, in scala 1:100.000. Nel diagramma a blocchi di figura 2 è descritta la procedura adottata. Il foglio è stato rasterizzato con una risoluzione a 400 dpi. La sua georeferenziazione è stata fatta con il software commerciale Envi 4.0. I punti di controllo sono stati prescelti tra le intersezioni del reticolato chilometrico. L'rms medio, derivante dal processo di georeferenziazione, è risultato pari a 1.9 m. L'immagine finale, in formato geotif, su cui si è proceduto alla digitalizzazione delle curve di livello, era caratterizzata da una risoluzione a 8 bit.

La digitalizzazione delle curve di livello è stata fatta in ambiente Autocad Map, creando delle poli linee alle quali venivano attribuite le corrispondenti quote. Eseguito il tracciamento delle polilinee, in formato dxf, il file veniva, successivamente convertito in formato di testo tabellare. La tabella finale era costituita da tre colonne che rappresentavano, rispettivamente, le coordinate Nord, Est e la Quota. Infine il file di testo veniva rielaborato con il metodo di interpolazione TIN, basata

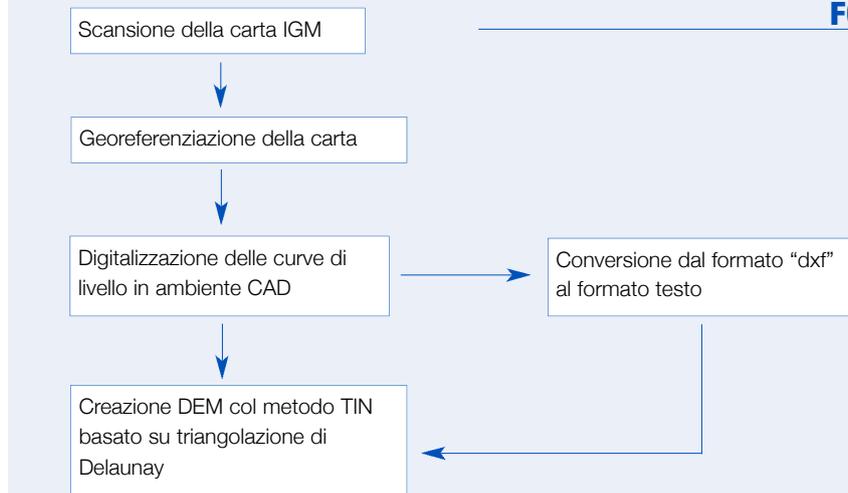


Figura 2 - Procedura per ottenere il DEM dalla carta IGM

sulla tassellazione di Delaunay (Peucker et al., 1978). Il modello digitale del terreno prodotto dalla digitalizzazione del foglio IGM (Figura 3), è stato espresso in coordinate UTM-Fuso 33, con datum WGS84.

DEM da immagini SAR

L'interferometria differenziale SAR è stata applicata a due coppie di immagini, in formato SLC, del 13-14 gennaio e 17-18 febbraio 2000, acquisite dai satelliti ERS-1 ed ERS-2. In particolare sono stati prodotti due DEM, utilizzando la piattaforma software ENVI 4.0 munita del plug-in Phasar relaise 1.0. I due DEM sono rappresentati nel sistema UTM-Fuso 33 con Datum WGS 84. In figura 4 riportiamo quello di gennaio.

Analizzando in dettaglio le mappe di coerenza e gli istogrammi di frequenza relativi alla qualità dei due DEM (0=mancanza di corrispondenza, 255=totale corrispondenza), si può rilevare il fatto che le immagini SAR hanno denunciato basse caratteristiche di rispondenza nella fase di srotolamento della fase (Verdone et al., 1994). L'rms medio, derivante dal

processo di geocodifica, è risultato pari a 4 m, sia per la coppia di gennaio che per quella di febbraio.

Richiami alla tecnica ASTER

L'ASTER è un satellite lanciato in orbita il 18 dicembre del 1999, come componenti della stazione TERRA, per registrare informazioni dettagliate della temperatura sulla superficie della terra, dell'emissività, della riflessione e dell'altezza (Hirano et al., 2003). Il satellite è formato da 3 differenti sottosistemi (Figura 5):

- VNIR (Visibile and Near-Infrared), con 3 bande, una risoluzione spaziale di 15 metri ed un telescopio aggiuntivo con vista all'indietro, che permette di generare le stereo-coppie di immagini;
- SWIR (Shortwave Infrared), con 6 bande ed una risoluzione spaziale di 30 metri;
- TIR (Thermal Infrared), con 5 bande ed una risoluzione spaziale di 90 metri.

Ogni sottosistema funziona in una regione spettrale differente, con il proprio telescopio specifico.

In figura 6 è riportata una vista in orbita del satellite ASTER e le bande spettrali in cui esso opera.

Nel lavoro si sono elaborate le immagine derivanti dal sottosistema VNIR. Esso è costituito da due telescopi indipendenti, assemblati in modo tale da minimizzare la distorsione d'immagine nella vista all'indietro e nella vista al nadir. I sensori di ciascuna delle bande elencate sono costituiti da una carica di 5000 elementi di silicio accoppiati ai rivelatori (Charge Coupled Detectors, CCD's). Soltanto 4000 di questi rivelatori sono usati contemporaneamente. Un ritardo temporale caratterizza l'acquisizione

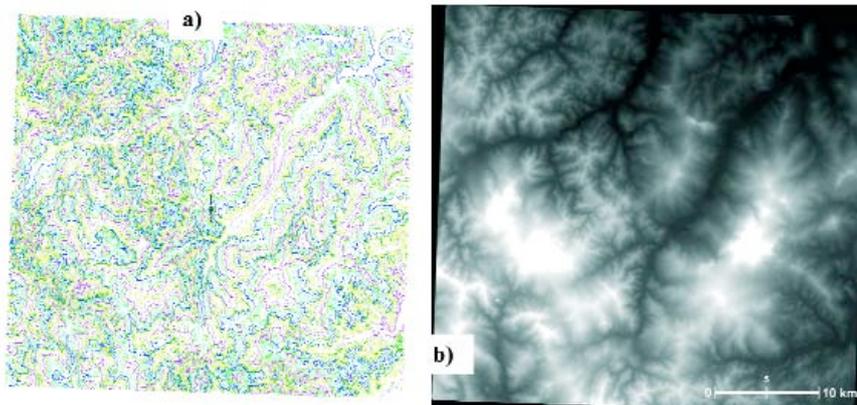


Figura 1 - DEM prodotto dalla digitalizzazione del foglio IGM alla scala 1:100.000

dell'immagine a rovescio dall'immagine di nadir. Il sottosistema di VNIR estrae automaticamente i 4000 pixel corretti basati sulle informazioni di posizione di orbita fornite dalla piattaforma terrestre EOS.

ASTER produce dati a Livello-1A (L1A) e dati a Livello-1B (L1B) (G. Marin, 2002).

Questi sono costituiti dai dati di immagine, dai coefficienti radiometrici, dai coefficienti geometrici e da altri dati ausiliari, che non vengono direttamente applicati sull'immagine ma vengono forniti in un file separato. I dati L1B sono calibrati radiometricamente e ricampionati geometricamente.

Tutti i dati di immagine acquisiti sono derivazioni del livello L1A. A causa della limitatezza della memoria di immagazzinamento a bordo del satellite, ogni giorno vengono acquisite circa 650 scene di livello L1A. Un massimo di 310 scene al giorno è poi post-processato al livello L1B.

L'elaborazione delle coppie stereoscopiche ASTER si basa su un algoritmo di autocorrelazione di immagine, che permette il riconoscimento sulle immagini digitali di segnali o forme al fine di individuare, in maniera automatica, punti omologhi. Il riconoscimento dei punti omologhi avviene con scarti inferiori alle dimensioni del pixel (autocorrelazione sub-pixel). Le operazioni di correlazione possono essere eseguite attraverso il riconoscimento sulle immagini di entità differenti; possono essere considerati i valori radiometrici delle immagini (livelli di grigio), può essere utilizzata la presenza di elementi geometrici semplici (punti, linee, aree), possono essere adoperare le relazioni spaziali che

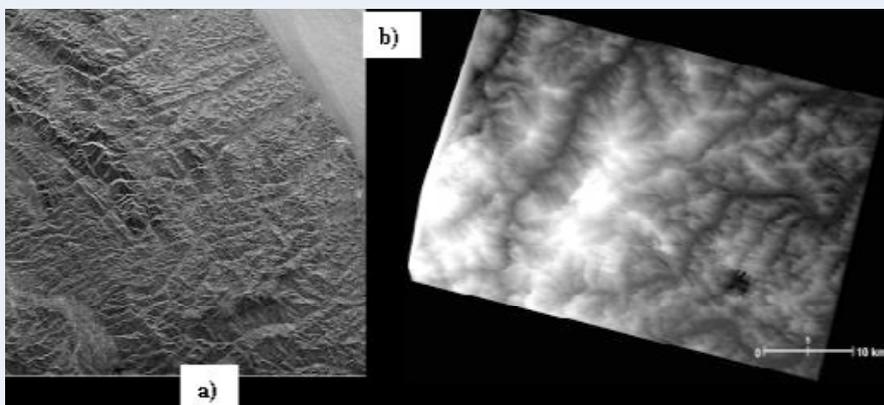


Figura 4 - DEM prodotto con le immagini di gennaio. a) Immagine in intensità - pixel size (x,y) 15 m

esistono tra gli elementi stessi.

Il DEM sperimentale è stato realizzato attraverso il plug-in AsterDTM (ATBD, 1999).

Il principio di base su cui si fonda l'estrazione di DTM con AsterDTM è l'effetto ben noto di parallasse. In particolare AsterDTM converte le due bande dell'immagine VNIR in una coppia di immagini quasi-epipolari, che hanno uno spostamento del pixel nel senso di volo del satellite proporzionale all'altezza del pixel. A sua volta lo spostamento, trasformato nei valori di altezza, viene calcolato con il metodo della correlazione incrociata.

In particolare, il software AsterDTM sfrutta le caratteristiche degli algoritmi di Area Based Matching. Il metodo Area Based Matching si basa sul confronto statistico dell'intensità di grigio tra i pixel delle immagini. Nel processo vengono considerate due piccole porzioni di immagine, denominate image patches, delle quali una, definita matrice sagoma (target o template), viene tenuta fissa su una immagine mentre l'altra, definita matrice di ricerca (search matrix o search window), viene fatta muovere sull'altra immagine fino

ad individuare l'esatto punto corrispondente secondo un criterio predefinito.

Il processo di autocorrelazione può essere distinto nelle seguenti fasi:

- selezione dell'entità per la correlazione in una immagine;
- individuazione della corrispondente entità su un'altra immagine;
- calcolo della posizione nello spazio del punto considerato;
- valutazione della qualità della correlazione.

La prima fase riguarda la selezione dell'entità sul fotogramma che dovrà essere successivamente utilizzata per la correlazione. In questo caso possono essere utilizzati alcuni operatori matematici, denominati "operatori di interesse", che, secondo criteri prestabiliti, consentono di individuare su ogni fotogramma i punti che meglio si prestano ad una successiva correlazione.

La fase successiva della ricerca del punto "omologo" individuato su un'altra immagine viene eseguito con il metodo della scomposizione piramidale. Questa tecnica prevede il ricampionamento

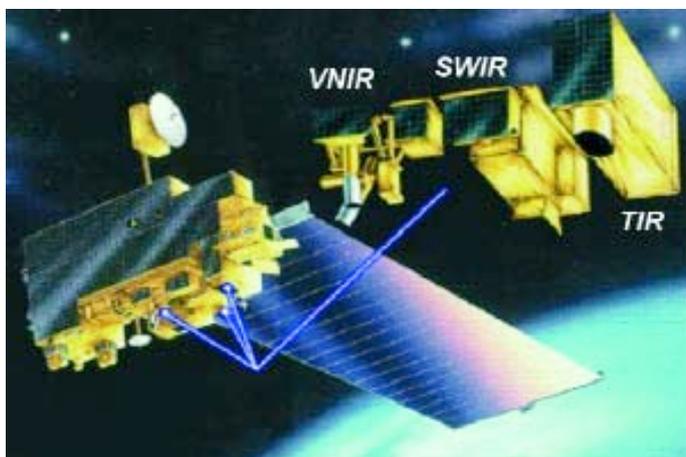


Figura 5 - Sensori VNIR, SWIR e TIR e bande spettrali in cui operano (dal sito <http://asterweb.jpl.nasa.gov>)

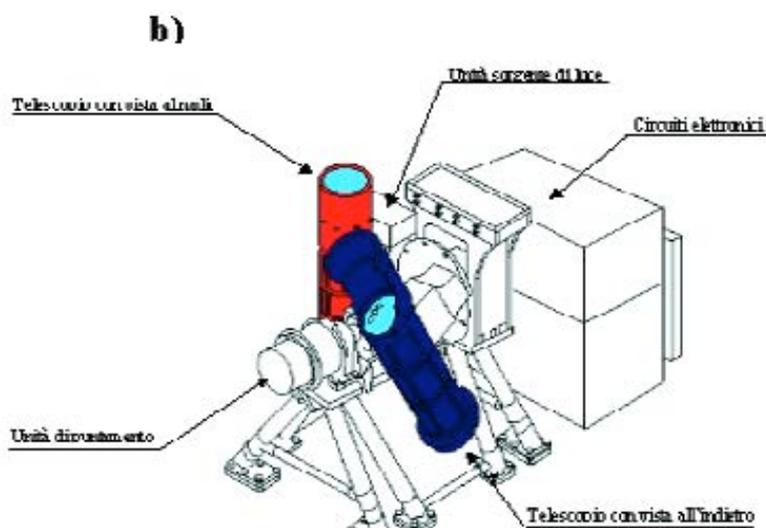


Figura 6 - Vista del satellite ASTER

dell'immagine digitale originale in una serie di immagini a risoluzione ridotta che vengono denominate immagini piramidali. Il processo di correlazione viene fatto iniziare nelle immagini a risoluzione più bassa, in maniera tale da potere sfruttare la posizione calcolata come posizione approssimata, per il livello successivo. In questo modo viene quindi limitata l'area di ricerca nell'intorno della posizione trovata in precedenza. E' un approccio di tipo gerarchico e la correlazione termina quando la correlazione viene eseguita sull'immagine originale.

Al termine del processo di generazione del DEM, quando l'immagine è stata creata, viene fornita la matrice di correlazione che verifica la bontà di tutto il processo effettuato.

DEM da immagini ASTER

L'immagine scelta per la costruzione del DEM è stata ripresa il 22/06/2003 alle ore 10:10 a.m. ed è stata rielaborata dal centro di calcolo nel luglio dello stesso anno. Essa ha un ricoprimento di circa 60 kmq. Nelle figure successive, è riportato il DEM ottenuto con definizione orizzontale di 15 m. Nella figura 7 viene proposta la vista bidimensionale planimetrica, in toni di grigio. Nella figura 8 viene proposta la rappresentazione 3D integrata alla visione a colori (true colors) dell'immagine nelle 3 bande 1-3N del VNIR.

Confronti

Per effettuare i confronti tra le varie

tecniche si è presa in esame soltanto una porzione dei DEM ottenuti. Ciò si è reso necessario per diversi motivi. In primo luogo perché i DEM non sono perfettamente sovrapponibili in quanto hanno superfici con differente sviluppo planimetrico. Inoltre la quantità di informazioni presenti non può essere facilmente trattata con i normali elaboratori presenti sul mercato. Infine perché alcuni confronti sono stati fatti con un rilevamento diretto GPS, che non poteva essere effettuato in tempi brevi e a costi contenuti in un'area così grande. La scelta dell'area di studio è così ricaduta sulla porzione di terreno di 5' in latitudine e 6' in longitudine, estensione fatta in virtù della variata conformazione orografica e della contemporanea presenza del fiume Marecchia, importante per caratterizzare meglio le risposte alla presenza di corsi d'acqua delle varie tecniche.

Per effettuare i confronti tra le tre tecniche utilizzate, si è adottato un criterio operativo basato sulla sovrapposizione di due griglie, a maglie quadrate di ugual lato. In particolare, si sono messe a confronto griglie quadrate di lato 100 m e di lato 200 m. Considerando l'area di studio prescelta, si sono ottenute in questo modo tracciati di 156x154 lati nel primo caso (24024 nodi) e di 78x77 nel secondo caso (6006 nodi). Per una migliore interpretazione del fenomeno le griglie risultano spostate di 50 m in planimetria l'una dall'altra.

Per ogni confronto sono stati prodotti degli istogrammi di frequenza relativa e cumulata, in cui sono rappresentate le

differenze di quota di due sistemi di elaborazione di DEM. In seconda battuta sono state generate alcune sezioni trasversali e longitudinali del terreno, per confrontare tra loro gli andamenti del terreno ottenuti dai vari DEM. Infine le tecniche di realizzazione dei vari DEM, sono state analizzate in termini di tempi necessari per ottenere il prodotto finale e di costo di tali operazioni.

IGM - SAR

Il confronto tra la tecnica SAR e la digitalizzazione di una carta IGM ha fornito risultati diversi trattando le due coppie tandem di gennaio e di febbraio,

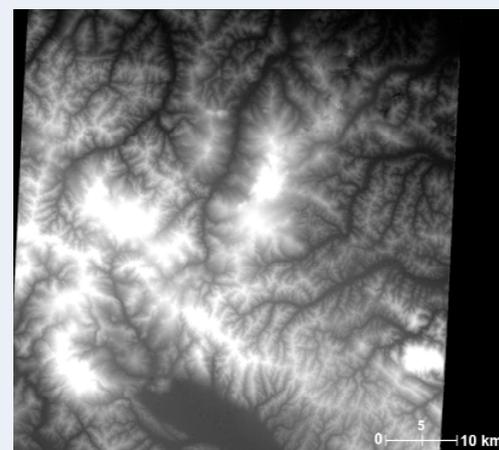


Figura 7 - DEM ottenuto da immagine ASTER: vista planimetrica in toni di grigio

in virtù del fatto che le due coppie avevano valori di baseline diversi: (140 m per la coppia di gennaio e 210 m per la coppia di febbraio). In tabella 1 sono riportate le medie delle differenze per singolo campione (grigliato) ed i loro eqm, in metri, al variare della coppia tandem.

A titolo di esempio riportiamo in figura 9 l'istogrammi di frequenza relativo al grigliato a 100 m.

Analizzando le tabelle ed i grafici si evidenzia come i valori delle differenze di quota dei DEM ottenuti dalla carta IGM e dalle immagini tandem di gennaio e di febbraio, si collocano tutti intorno al valore medio trovato. Questa tendenza, confermata anche dal successivo confronto con il DEM ASTER, ha fatto pensare all'esistenza di un errore sistematico nella quota del DEM generato dall'immagine SAR.

Le differenze ottenute sono quindi state depurate di tale effetto, ottenendo i valori di confronto riportati nella tabella 2 e nel grafico di figura 10.

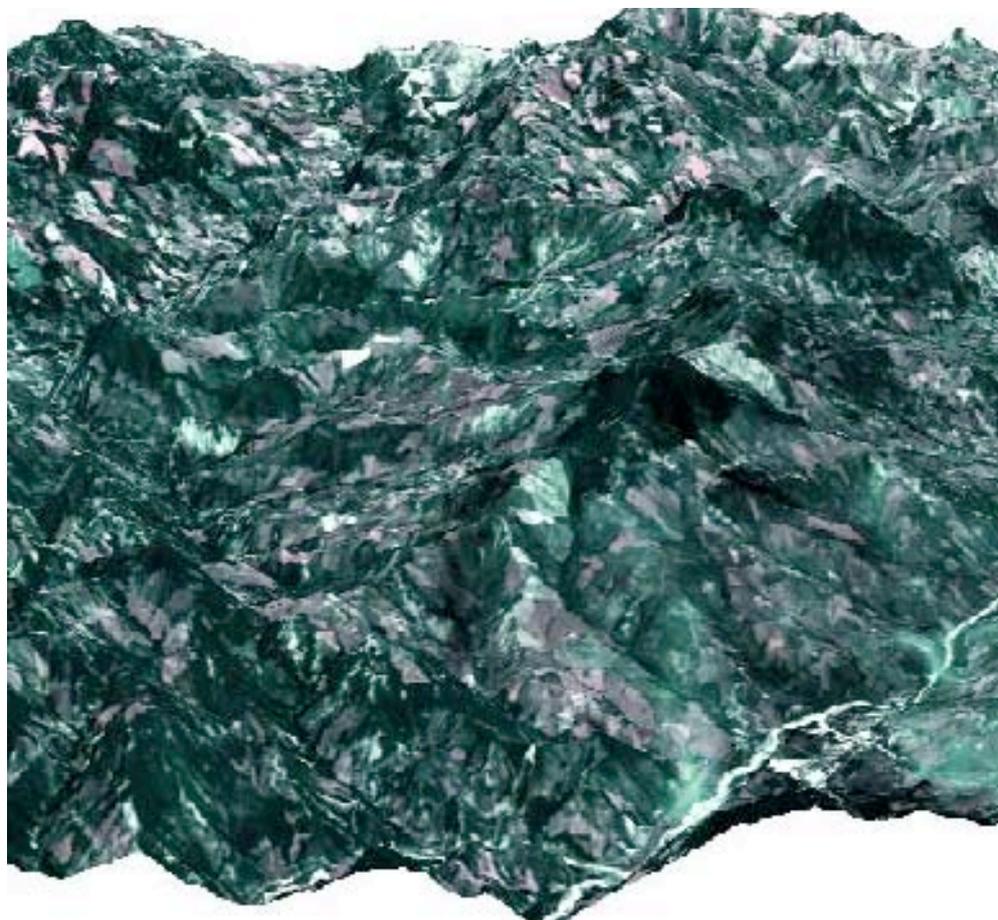
ASTER - SAR

L'analisi delle differenze di quota riscontrate trattando il confronto tra il DEM ottenuto attraverso l'immagine ASTER e le coppie tandem SAR, ha evidenziato lo stesso andamento del caso precedente. Anche in questa circostanza, infatti, si può riscontrare una significativa differenza relativa, che diventa più marcata nel caso del modello digitale del terreno ottenuto dalla coppia di immagini ERS di gennaio. Anche in questo caso i valori delle differenze si distribuiscono attorno al valore della differenza media. Nel seguito (Tabella 3 e Figura 11) vengono riportati i parametri statistici e i grafici relativi al caso trattato.

IGM - ASTER

Il confronto delle differenze di quota tra il DEM ottenuto dalla digitalizzazione della carta IGM in scala 1:100.000 e il DEM ottenuto da immagini ASTER ha fornito i risultati più significativi (Tabella 4). La sovrapposizione dei reticolati a maglia quadrata fornisce risultati praticamente identici nei due casi. Inoltre è possibile notare come le differenze di quota più alte sono tutte concentrati in una zona ben definita.

In figura 12 è riportato una sorta di DEM differenziale ottenuto inserendo nei nodi della griglia di maglia 100 m i



Grigliato	IGM-SAR gen.	IGM-SAR feb.
	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$
100 m	30 ± 6.5	21 ± 6
200 m	29 ± 7	21 ± 6

Tabella 1 - Differenze medie e loro eqm (in metri) nel confronto tra DEM ottenuto dalla digitalizzazione e da una coppia tandem SAR. I valori sono riportati per grigliato.

Grigliato	IGM-SAR gen.	IGM-SAR feb.
	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$
100 m	5 ± 4.5	4.5 ± 4
200 m	5 ± 5	4 ± 5

Tabella 2 - Differenze medie e loro eqm (in metri) nel confronto tra DEM ottenuto dalla digitalizzazione e da una coppia tandem SAR. I valori sono riportati per grigliato. Quote SAR depurate dell'effetto sistematico.

Grigliato	IGM-SAR gen.	IGM-SAR feb.
	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$
100 m	27.5 ± 7	16.5 ± 6
200 m	26 ± 8	16.5 ± 8

Tabella 3 - Differenze medie e loro eqm (in metri) nel confronto tra DEM ottenuto da immagini ASTER e da una coppia tandem SAR. I valori sono riportati per campione (grigliato).

Grigliato	IGM-ASTER	Tabella 4 - Differenze medie e loro eqm (in metri) nel confronto tra DEM ottenuto dalla digitalizzazione di una carta IGM e da immagini ASTER. I valori sono riportati per campione (grigliato).
	$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$	
100 m	8.6 ± 6	
200 m	8.6 ± 6	

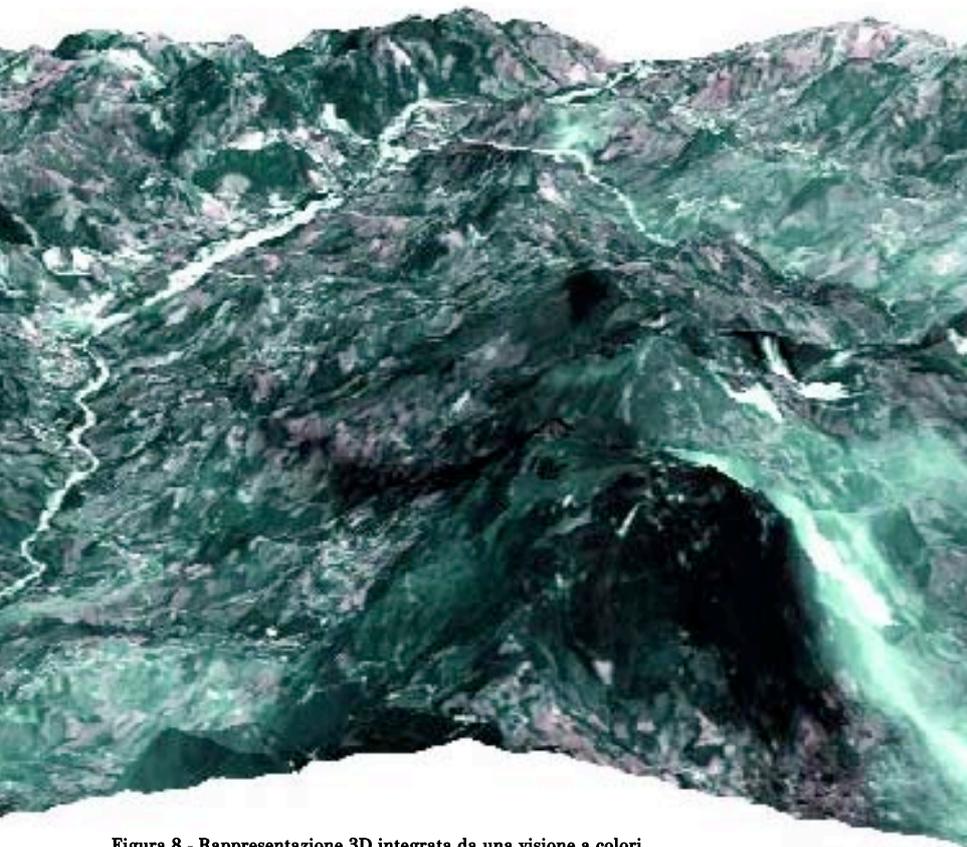


Figura 8 - Rappresentazione 3D integrata da una visione a colori

valori assoluti delle differenze di quota dei DEM presi in esame.

Tempi di realizzazione e costi

Per poter comparare tra di loro le tre tecniche in termini di tempi e di costi, sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- **Piattaforma Software.** In tutti e tre i casi per elaborare i DEM è stato utilizzato ENVI 4.0 della RSI. Ogni tecnica infine si basa su un plug-in o su un programma specifico: per esempio AutoCad Map per la digitalizzazione delle curve di livello, PhASAR per l'elaborazione delle immagini ERS ed AsterDTM per l'elaborazione delle immagini ASTER.
- **Tempo elaborazione** desunto per un operatore che ha buona dimestichezza con la piattaforma software.
- **Costo immagini.**
- **Livello di automazione** del processo di elaborazione.
- **Qualità, ovvero qualità "visiva"** dell'immagine raster.

In figura 13 viene riportato un prospetto riassuntivo che mette in relazione i costi delle singole immagini, i tempi di realizzazione ed i costi finali dei DEM.

Confronto assoluto

Un confronto assoluto dei DEM ottenuti è stato eseguito attraverso un rilevamento diretto, effettuato nella zona di Sant'Agata Feltria nell'agosto del 2004. Il rilevamento diretto è stato eseguito con un sistema GPS StarFire della NavCom, Technology, sistema che permette una precisione plano-altimetrica dell'ordine del decimetro (Hatch et al., 2002).

Preliminarmente al rilevamento di campagna, si è reso necessario individuare sulla carta alcuni punti facilmente identificabili sul terreno. La scelta dei punti è caduta su quegli elementi ben caratterizzabili e distinguibili come incroci di strade o ponti. La scelta dei punti da rilevare è stata effettuata su alcune ortofotocarte a colori della cartografia IGM in scala 1:25.000.

Alla fine sono stati individuati una cinquantina di punti. Le misure sono state effettuate con un sistema GPS StarFire della NavCom, composto da un solo ricevitore modello NCT-2000D della serie SF-2050M, un'antenna

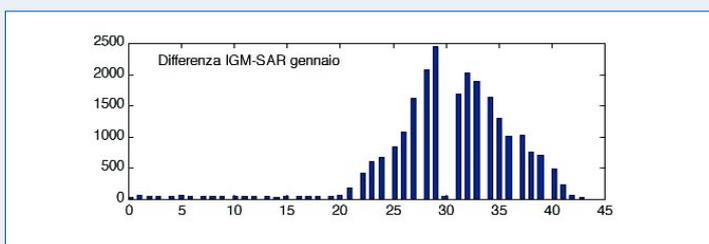


Figura 9 - Istogramma di frequenza delle differenze di quota con griglia a maglie di lato 100 m.

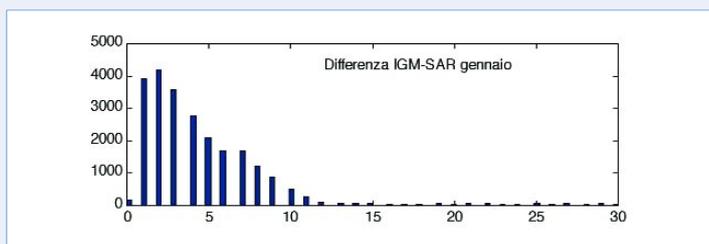


Figura 10 - Istogramma di frequenza delle differenze di quota con griglia a maglie di lato 100 m. Quote SAR depurate dell'effetto sistematico.

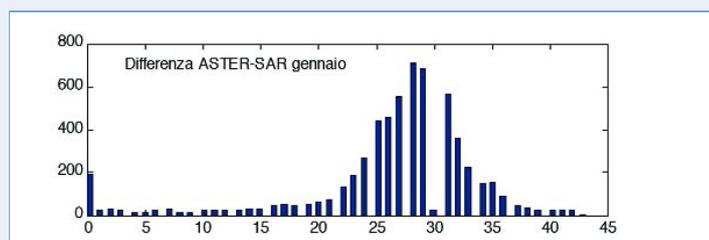


Figura 9 - Istogramma di frequenza delle differenze di quota con griglia a maglie di lato 200 m.

I toni che tendono al bianco comprendono valori che oscillano tra i 20 e i 30 metri, quelli più scuri sono tutti oscillanti tra la differenza 0 (pixel nero) e i 15 metri (grigio).

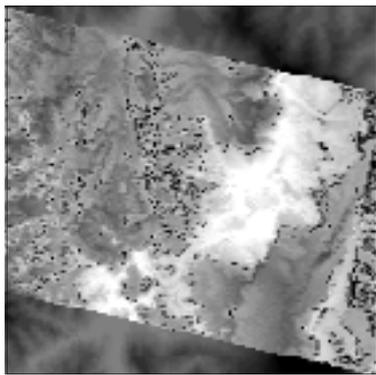


Figura 12. Rappresentazione tridimensionale delle differenze di quote ottenute tra i DEM messi a confronto.

Si può notare che i punti più chiari, ovvero a differenza maggiore, si trovano tutti compresi in un'area ben definita, che comprende per intero il letto del fiume Marecchia. Nella letteratura riguardante le immagini ASTER non si accenna a problemi legati alla riflessione dell'acqua, che si ripercuotono sulla qualità delle immagini ottenute. Tuttavia è lecito ipotizzare che essendo questi gli unici punti soggetti a differenze maggiori di 20 m, mentre tutti gli altri punti sono al di sotto di tale soglia, la rifrazione dell'acqua provochi qualche effetto perturbativo nella stereocoppia.

bidirezionale, un palmare, oltre ai cavi di collegamento e alla palina di posizionamento (Figura 14). Le campagne di misure sono state eseguite in data 17, 19 e 24 agosto 2004. E' stato possibile rilevare 42 punti rispetto ai 55 previsti in sede di pianificazione. Questo perché alcuni punti prescelti si sono rivelati di non facile accessibilità, per la presenza di strade interrotte o impedimenti naturali, o a causa della copertura vegetativa, non presente sulle ortofoto a colori, che ha impedito la corretta ricezione dei satelliti GPS da parte del ricevitore.

Su ogni punto prescelto si è proceduto ad una doppia acquisizione dei dati. Infatti, una volta che il software utilizzato segnalava l'operatività del segnale in doppia frequenza, si sono registrate due sessioni di dati della durata di 30 secondi l'una, con intervallo di acquisizione di 1 secondo.

L'intervallo tra le due acquisizioni è stato fissato in circa 5 minuti.

Il tempo medio di stazionamento su ogni punto, considerando anche le eventuali inizializzazioni in caso di perdita del segnale, è stato così di circa 15 minuti.

Per confrontare i valori delle quote ottenute con il rilievo GPS con quelle presenti nei DEM si è utilizzato il software ENVI 4.0. Poiché le coordinate

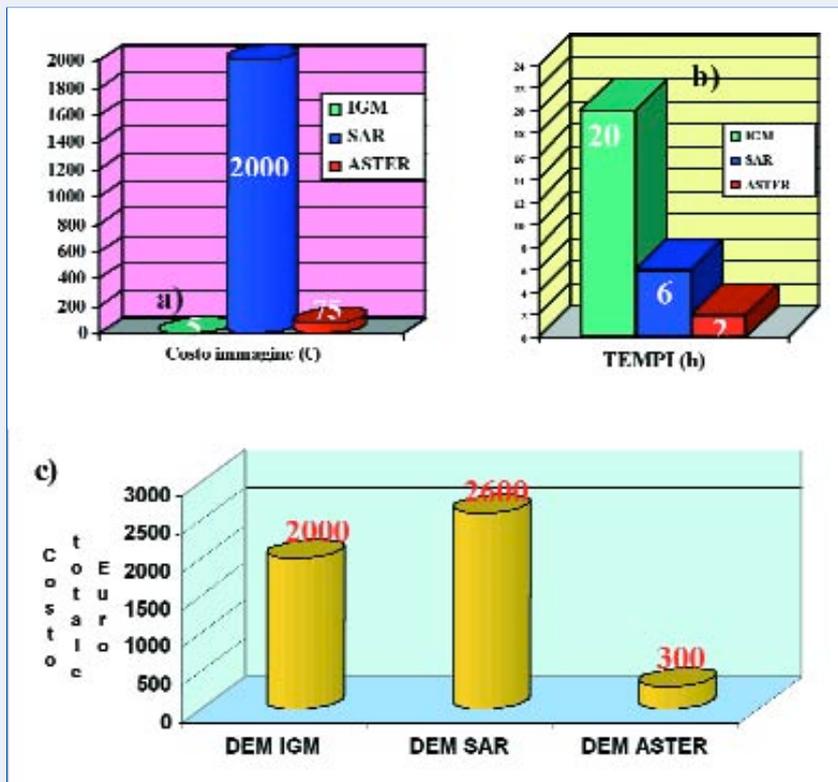


Figura 13 - Costi singoli immagini. Tempi di realizzazione. Costi finali.



Figura 14 - La strumentazione utilizzata. a) ricevitore; b) antenna; c) palmare. d) Immagine delle misure.

GPS-IGM	IGM-SAR gen.	IGM-SAR feb.	GPS-ASTER
$\delta h \pm \sigma_{\delta h}$			
4 ± 4.9	11 ± 6.6	11.2 ± 7.1	4.9 ± 3.4

Tabella 5 - Differenze medie e loro eqm (in metri) nel confronto "assoluto".

dei punti rilevati non ricadevano esattamente nei nodi delle maglie quadrate dei reticolati di passo 15 m con cui sono stati realizzati i DEM, si è provveduto a ricostruire, tramite interpolazione lineare, le quote nei punti in esame, prendendo a riferimento le quote dei pixel vicini. Si è usata un'interpolazione lineare visti gli andamenti pressoché uniformi del terreno nei punti in esame e l'assenza di crepacci o punti di forte discontinuità morfologica. In tabella 5 sono riportati i confronti.

Conclusioni

Il modello digitale del terreno che si basa sulla digitalizzazione di cartografia esistente ha come elemento negativo la scarsa automazione del processo di acquisizione dei dati. Inoltre, per quanto un operatore si dimostri abile nel digitalizzare le curve di livello, il prodotto finale è comunque affetto da un errore plano-altimetrico che si aggiunge a quello "proprio" della carta. Il tentativo di utilizzare delle conversioni raster-vettoriale attraverso software di vettorializzazione, non hanno prodotto risultati significativi, in virtù della densità delle curve di livello. Altro aspetto negativo del metodo è lo scarso aggiornamento della cartografia alla scala 1:100000 esistente.

Il DEM basato sulle immagini SAR presenta problemi inversi. In questo caso è il prezzo delle immagini che rende elevato il costo di tutto il processo. Inoltre, dai dati relativi ai confronti effettuati in termini di precisione e di accuratezza, i risultati ottenuti con la tecnica SAR sono stati i più modesti, anche perché affetti da errori di tipo sistematico derivanti dalla loro geocodifica. Il SAR presenta inoltre uno scarso livello intuitivo e visivo nei passaggi di elaborazione. I risultati ottenuti nei passaggi intermedi (*phase unwrapping, interferogramma, ecc.*) non sono delle immagini ottiche ma il prodotto di elaborazioni di segnali. Risulta quindi difficile intervenire o prevedere errori, prima del termine del processo.

La tecnica ASTER si presenta come la più economica, rapida e flessibile fra tutte quelle proposte. Con la sola condizione di conoscere le coordinate plano-altimetriche di almeno 4-5 punti di controllo con cui fare la georeferenziazione, si possono ottenere DEM con pixel size di 15 m con errori medi sulla quota di circa 5 metri.

I processi di acquisizione dei dati e di elaborazione delle immagini sono tutti automatizzati e i parametri di elaborazione possono essere variati a secondo delle esigenze. In più un grande vantaggio di questa tecnica è la grande semplicità nell'eseguire i vari processi di calcolo, caratteristica che rende il sistema fruibile anche ad utenti poco esperti.

I costi contenuti e le grandi aree ricoperte da una singola immagine

pongono sicuramente la tecnica ASTER all'avanguardia nella generazione di DEM su grandi scale.

Si ringrazia il Dott. Luca Nardella per avere attivamente collaborato alla realizzazione di questa ricerca. Si ringrazia altresì il Sig. Marco Marchesini della Guido Veronesi s.r.l. per avere messo a disposizione il sistema GPS Navcom Starfire.

Autore

MARCO GATTI

*Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara,
Via Saragat 1, 44100 Ferrara
Tel. 0532-974837; e-mail: mgatti@ing.unife.it*

*Lavoro presentato all' 8° Conferenza Nazionale ASITA
Roma 14-17 dicembre 2004
Lavoro finanziato con i contributi ex 60% - 2004.
Titolare Prof. Marco Gatti*

Bibliografia

T. Peucker, R. Fowler, J. Little, D. Mark; (1978); "The Triangulated Irregular Network"; Proceeding of the Digital Terrain Model Symposium, St. Louis, Missouri.

A. Hirano, R. Welch, H. Lang.; (2003); "Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment"; ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, n.57 pp. 356- 370.

ATBD-AST-08 (1999); "Algorithm theoretical basis document for Aster Digital Elevation Models (standard product AST14) version 3.0"; Revised 5 February 1999.

T. Toutin, P. Cheng; (2001). "DEM Generation With ASTER Stereo Data. Earth Observation" Magazine, June 2001.

G. Marìn, (2002); "GEOSAT-AR : Technology transfer program of ASTER data, image processing and applications" IAPRS&SIS, Vol. XXIV Part B6. Available at <http://www.isprs.org/commission6/proceedings/>

G.R. Verdone, E. Lopinto, C. Marzo, R. Viggiano, F. Volpe (1994); "Generazione automatica di DEM con dati Tandem ERS e criteri di valutazione"; Atti del convegno "Fringe", ESA, Svizzera, 1994.

R. Hatch, T. Sharpe, P. Galyean (2002); "StarFire: A Global High Accuracy Differential GPS System"; Nav Com Technology Incorporation: <http://www.navcomtech.com/archives.cfm>.