

Impiego del DEM interferometrico DUDES per il processamento di immagini telerilevate

Fabio VOLPE (*), Roberta ONORI (**)

(*) Eurimage, via Edoardo D'Onofrio 212, tel +39 06 406941 fax +39 06 40694232, e-mail f.volpe@eurimage.com
(**) Eurimage, via Edoardo D'Onofrio 212, tel +39 06 406941 fax +39 06 40694232, e-mail r.onori@eurimage.com

Riassunto

Il processamento geometrico di immagini satellitari richiede l'impiego di un modello digitale del terreno per tenere conto delle variazioni planoaltimetriche del terreno. Questa esigenza è particolarmente importante per tutti quei sistemi di acquisizione satellitare che prevedono la rotazione del sensore per consentire l'acquisizione dell'immagine a distanze anche notevoli dal footprint nominale dell'orbita. Per non introdurre errori planimetrici eccessivi, soprattutto per immagini satellitari ad alta risoluzione, il modello digitale del terreno impiegato deve avere una buona qualità, ed un'elevata risoluzione spaziale. IL DEM interferometrico DUDES, prodotto nell'ambito di un progetto finanziato dall'ESA, e basato sull'integrazione del dato SRTM con il dato generato da coppie interferometriche ERS, costituisce un buon compromesso tra accuratezza e risoluzione, in quanto rispetta le specifiche DTED-2 ed ha una risoluzione di un arco secondo. Il DEM DUDES, è stato impiegato con successo per il processamento geometrico di tre tipologie di dati satellitari a media ed alta risoluzione, con risoluzione variabile da 15 a 0.6 metri. I risultati conseguiti vengono analizzati e discussi

Abstract

Geometrical processing of satellite images requires the use of a digital elevation model for taking into account the morphology of the terrain. The use of a digital elevation model is much more important when dealing with satellite collection systems that allow sensor tilting for the collection of data far from the orbit nominal footprint. In order to avoid the introduction of high planimetric errors, especially for high resolution satellite image, the digital elevation model should have a good quality, and a small pixel size. The DUDES interferometric DEM, generated within a project financed by ESA, and based on the integration of SRTM data and ERS tandem pairs, is a good trade-off between accuracy and resolution, since it is compliant with DTED-2 specifications and has a one arcsecond posting. DUDES DEM has been successfully adopted for the geometrical processing of three different types of medium and high resolution satellite data, with resolution in the range 15 – 0.6 meters. Obtained results are analyzed and discussed.

Introduzione

L'impiego di immagini satellitari, soprattutto ad alta risoluzione, è ormai molto diffuso sia in Italia che all'estero. La richiesta di dati è supportata dall'enorme visibilità fornita ai dati satellitari da iniziative come Google Earth o Microsoft Live Local, che costituiscono una vetrina imbattibile e facilmente accessibile sulle caratteristiche dei dati satellitari e sul tipo di informazioni che da essi è possibile estrarre. Una conseguenza di questa elevata esposizione è che il bacino di utenza dei dati satellitari si è allargato a macchia d'olio, coinvolgendo anche utenti con conoscenze nulle o limitate sulle tecnologie di acquisizione e processamento dei dati. Parallelamente, la parte di processamento geometrico del dato è spesso passata in secondo piano, e data per scontata dagli utenti. Di conseguenza, molti utenti rimangono sorpresi nell'apprendere che i dati satellitari, così come forniti dai data providers, necessitano quasi sempre di una fase di processamento geometrico per poter essere sovrapposti alla cartografia o essere incrociati con livelli informativi quali, ad esempio, il grafo stradale. La fornitura di un dato satellitare è, a conti fatti, una procedura semplice e accessibile a tutti, perché si tratta, una volta identificata l'area di interesse, di verificare con un image provider o su cataloghi on-line quali tipologie di dati satellitari sono già disponibili (oppure richiedere la pianificazione una nuova acquisizione) e quindi procedere all'acquisto dei dati presso il relativo image provider. I problemi nascono se l'immagine, come spesso accade, deve essere impiegata insieme con altri dati geografici, e quindi necessita di processamento geometrico. In questo caso bisogna da un lato avere un software che consenta la correzione geometrica dell'immagine, e dall'altro è necessario avere a disposizione tutte i dati ausiliari che sono richiesti dal processo: dati orbitali o comunque legati alla geometria di ripresa del satellite, punti di controllo, modello digitale del terreno. I dati orbitali vengono ormai forniti dagli image provider a corredo delle immagini satellitari, e quindi non costituiscono un problema per il successivo processamento.

I punti di controllo possono essere raccolti da cartografia o tramite rilievo GPS. Se ci limita a dati di bassa-media risoluzione, la cartografia IGM è più che sufficiente per ottenere accuratissime geometrie congruenti con la risoluzione geometrica del dato satellitare, per le immagini ad alta e altissima risoluzione è necessario ricorrere a cartografie di maggior dettaglio (1:10.000 o migliore) oppure basarsi su rilievi GPS.

Per quanto riguarda il modello digitale del terreno la situazione è più complessa. Limitandosi all'Italia, fino a poco tempo fa l'unico modello digitale del terreno disponibile in modo omogeneo su tutto il territorio nazionale e acquistabile anche per piccole porzioni di superficie quali quelle coperte dalle immagini telerilevate, soprattutto ad alta risoluzione, era il DEM dell'IGM con passo 20 metri. Da qualche anno è invece disponibile on-line il dataset SRTM, che copre buona parte della terra con risoluzione di 3 arcsec (circa 90 metri in Italia) e, recentemente, anche con un dato continuo e privo dei buchi legati ai problemi del processamento interferometrico sulle acque e sulle zone di elevata pendenza o boscosità. L'SRTM rappresenta una soluzione interessante per il processamento di immagini satellitari a risoluzione media, mentre per il processamento di immagini a risoluzione più spinta è preferibile avere a disposizione modelli digitali di maggior dettaglio ed accuratezza, con scala di riferimento nell'ordine dell'1:10.000-1:5.000, quale quella delle Carte Tecniche Regionali. Un prodotto di tale dettaglio non è comunque disponibile in modo omogeneo su tutto il territorio nazionale, ed inoltre le modalità di commercializzazione differiscono da Regione e Regione.

L'impatto del DEM sul processamento geometrico

Semplificando al massimo la logica del processamento geometrico di un dato telerilevato da satellite, si può dire che con il modello di ripresa del satellite, i dati ancillari di posizionamento ed i punti di controllo riusciamo a ricostruire la geometria di acquisizione del satellite ed a posizionare la scena satellitare sulla relativa porzione di territorio rappresentata. Alcuni satelliti, soprattutto quelli più recenti ad alta risoluzione, riescono a misurare dati ancillari di ottima accuratezza, che vengono poi ulteriormente rifiniti dai sistemi di processing a terra. Di conseguenza, per questi satelliti si riesce ad ottenere un posizionamento teorico medio con accuratezza planimetrica sotto i 25 metri ma, come specificano i satellite operators, senza considerare gli effetti del rilievo.

Da un punto di vista prettamente geometrico, se il satellite avesse una geometria di ripresa a raggi paralleli e l'acquisizione fosse perfettamente perpendicolare al terreno, il rilievo topografico non avrebbe alcun effetto, ed il modello digitale del terreno non sarebbe necessario. In realtà, invece, quasi tutti i satelliti acquisiscono con un angolo di acquisizione rispetto alla verticale diverso da zero, e la geometria di ripresa non è a raggi paralleli. Di conseguenza, senza la presenza di un modello digitale del terreno non sarebbe possibile tener conto delle variazioni plano-altimetriche, e l'immagine risultante presenterebbe distorsioni ed errori locali di posizionamento. L'impiego di un modello digitale del terreno diventa quindi fondamentale, soprattutto quando l'immagine viene acquisita sfruttando a pieno le capacità di rotazione del satellite e quindi gli angoli di acquisizione rispetto alla verticale sono elevati.

Per effettuare un corretto processamento geometrico, il DEM deve avere una buona accuratezza, una risoluzione geometrica funzione di quella del dato da processare, ed essere privo di imperfezioni locali. Infatti, una buona accuratezza nella misura della quota consente di limitare le distorsioni dovute al rilievo, che sono proporzionali, come intuibile, all'entità della rotazione del sensore dalla verticale per effettuare l'acquisizione; di conseguenza, all'aumentare di quest'ultima è necessario avere DEM sempre più precisi se si vuole ottenere un prodotto ortorettificato di buona qualità. E' preferibile poi che la risoluzione del DEM sia proporzionale alla risoluzione dell'immagine per consentire di seguire variazioni di rilievo che sono rilevabili anche sull'immagine. L'assenza di imperfezioni locali (valori mancanti, spikes, piccole fosse), inoltre, si traduce in un'immagine ortorettificata priva di aberrazioni geometriche.

In questo contesto, l'utente generico di dati telerilevati da satellite che deve affrontare il problema del processamento geometrico sul territorio nazionale può far riferimento all'impiego del DEM SRTM per dati con risoluzione fino a 10-20 metri, mentre per dati a risoluzione maggiore, nonché per i dati ad alta risoluzione (Ikonos, QuickBird), è opportuno ricorrere a dati di maggior dettaglio geometrico, come appunto il DEM DUDES.

Il DEM DUDES

L'interferometria è una tecnica che viene adottata per l'estrazione di modelli digitali del terreno da coppie di immagini radar, acquisite con geometria di ripresa simile. La tecnica ha ricevuto una forte spinta in seguito alla tandem mission di ERS-1 ed ERS-2 dell'ESA, che ha prodotto un'enorme quantità di dati a livello mondiale passibili di processamento interferometrico. Questo tipo di processamento, comunque, presenta delle limitazioni su determinate tipologie di aree, per le quali la coppia interferometrica presenta bassa coerenza, con impatto sulla qualità del prodotto generato. Ciò ha costituito, in alcuni casi, una limitazione al pieno sviluppo del potenziale di tali dati per la creazione di modelli digitali del terreno. Il DEM DUDES è basato sempre sul processamento interferometrico, ma ha dimostrato come sia possibile ottenere un prodotto di buona qualità, omogeneo e privo di buchi anche su grosse estensioni. Il DEM DUDES è stato generato in modo omogeneo su tutta Italia nell'ambito del progetto ESA-DUP-DUDES, con accuratezza compliant con le specifiche DTED-2 (Digital Terrain Elevation Data) dell'NGA (USA). E' basato sulla fusione dei dati X-SAR.

derivati dalla Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) e dai dati tandem delle missioni ESA ERS-1 e ERS-2. Come noto, mentre l'ERS fornisce una copertura integrale del territorio, l'SRTM X-SAR fornisce una copertura limitata, relativa solo ad alcune orbite, come riportato in figura 1. L'integrazione è stata ottenuta attraverso un'innovativa tecnica di fusione che, partendo dall'analisi dell'informazione contenuta nell'area di sovrapposizione dei DEM, riduce gli errori sistematici orizzontali e verticali, anche al di fuori delle aree di sovrapposizione, migliorando l'accuratezza media dei DEM di partenza e generando un prodotto destinato ad utenti che hanno bisogno di coniugare una buona accuratezza con un elevato dettaglio geometrico. Il DEM è stato sottoposto a test di validazione su varie aree, mostrando la piena rispondenza alle specifiche DTED-2

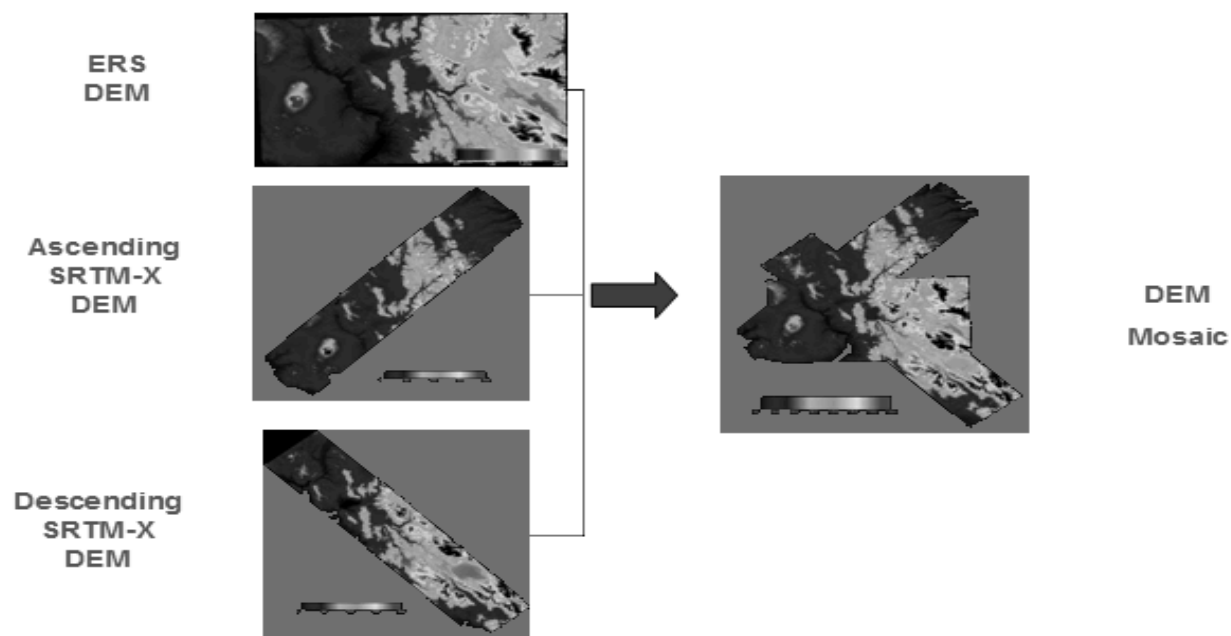


Figura 1 – Esempio di sovrapposizione di DEM derivati da orbite SRTM al DEM ERS

Il test realizzato

Il test realizzato ha avuto come scopo la valutazione dell'impiego del DEM DUDES per l'ortocorrezione di immagini satellitari Landsat, Spot e QuickBird. Le tre immagini inquadrano la zona dei Castelli Romani, caratterizzata da continue variazioni plano-altimetriche, ed hanno le seguenti caratteristiche:

- Immagine Landsat 7 pancromatica, 15 metri di risoluzione
- Immagine Spot 5 pancromatica livello 1A, 5 metri di risoluzione, viewing angle 9,7 gradi
- Immagine QuickBird Standard OrthoReady, 60 centimetri di risoluzione, viewing angolo medio - 17.7 gradi, viewing angolo medio in-track - 6.9 gradi, viewing angolo medio across-track -14.4 gradi

Nella scelta delle modalità di processamento dei dati si è tenuto conto di quella che è la procedura più comunemente seguita per ciascuna tipologia di dato. In particolare, per correggere le immagini Spot e Landsat, sono stati impiegati 11 GCP, distribuiti come si vede in figura 2, le cui coordinate planimetriche sono state rilevate da un'ortofoto alla scala 1:10000, mentre la quota è stata desunta direttamente dal DEM DUDES. Infatti, avendo questi dati una risoluzione geometrica non spinta, il processamento viene spesso fatto utilizzando dati aventi scala di riferimento di non elevato dettaglio. Il processamento geometrico è stato effettuato impiegando il modello di ripresa relativo a ciascun satellite. Per l'immagine QuickBird, invece, data la maggiore risoluzione del dato, sono stati impiegati, come quasi sempre accade nella pratica operativa, 26 punti misurati sia planimetricamente che in quota con GPS, in modo da ottenere un migliore posizionamento spaziale, e con accuratezza congruente con la maggior risoluzione spaziale dell'immagine. Il processamento è stato basato sulle RPC fornite da DigitalGlobe a corredo di tutte le immagini. Tutte le immagini sono state processate impiegando il DEM DUDES per la correzione delle variazioni plano-altimetriche.

L'accuratezza del prodotto ortorettificato così ottenuto è stata valutata:

- Nel caso di Spot e Landsat verificando 20 punti omogeneamente sparsi sull'immagine ed indipendenti dai GCP, impiegando l'ortofoto come dato di riferimento
- Nel caso di QuickBird, verificando gli stessi 26 punti impiegati per l'orientamento, e quindi utilizzando le coordinate GPS come riferimento

Il DEM DUDES impiegato per l'ortorettifica ha un'accuratezza media, stimata impiegando i punti GPS come riferimento altimetrico, di circa 6 metri

Risultati

La correzione delle immagini Landsat e Spot ha fornito i seguenti risultati:

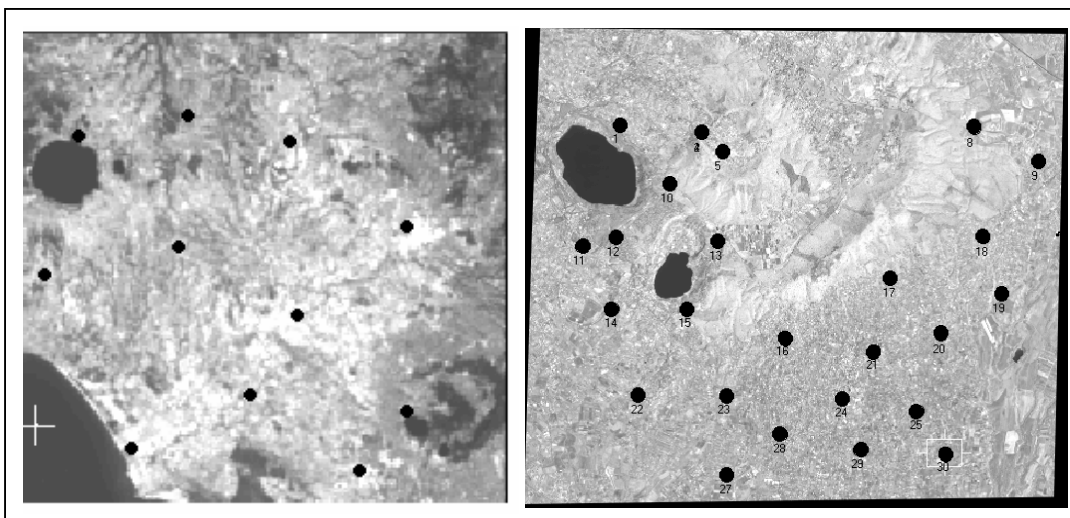


Figura 2 – Distribuzione dei punti di controllo impiegati per Landsat e Spot (a sinistra) e QuickBird (a destra)

- Landsat – RMSE 28.0 metri; CE90% 55.2 metri
- Spot – RMSE 5.4 metri; CE90% 7.0 metri

La qualità visiva è stata poi analizzata in dettaglio all'interno delle immagini, ma non sono state rilevate distorsioni locali significative dovute all'effetto del DEM

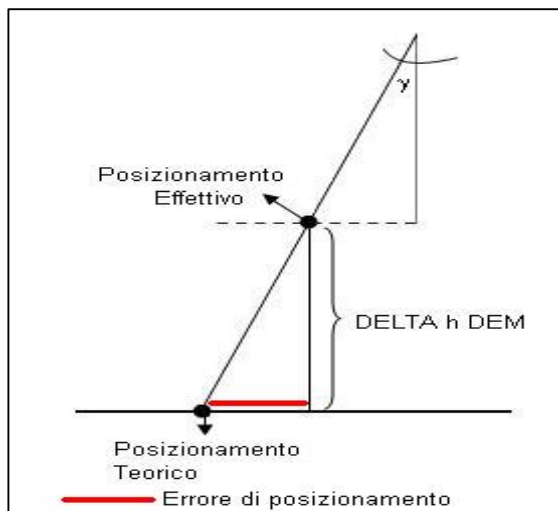


Figura 3 - Errore planimetrico dovuto all'effetto di un DEM non preciso

A questa evidenza di tipo geometrico, va aggiunto che l'immagine ortorettificata non presenta aberrazioni particolari legati all'effetto del DEM, per cui anche la qualità visiva risulta soddisfacente. Ovviamente, il DEM DUDES introduce comunque un peggioramento dell'accuratezza ottenibile, in teoria, con un modello digitale ideale senza errore.

Di fatto, l'errore planimetrico complessivo su ciascun punto può, in modo semplificato, essere dato da:

$$errore_{complessivo} = errore_{dem} + errore_{modello}$$

dove:

- $errore_{dem}$ = errore introdotto dall'errata quota del DEM impiegato nell'ortocorrezione

- $errore_{modello}$ = errore introdotto dalla imprecisione del modello e dei punti di controllo (sia come coordinate che come individuazione sull'immagine)

Un esempio di ciò è riportato in figura 4, in cui con andamento tratteggiato è riportato l'errore planimetrico teorico dovuto all'errore del DEM, mentre con andamento continuo è riportato l'involuppo di tutti gli errori misurati lungo l'asse x sui punti misurati. La distanza tra le due curve è l'entità dell'errore introdotto dal modello

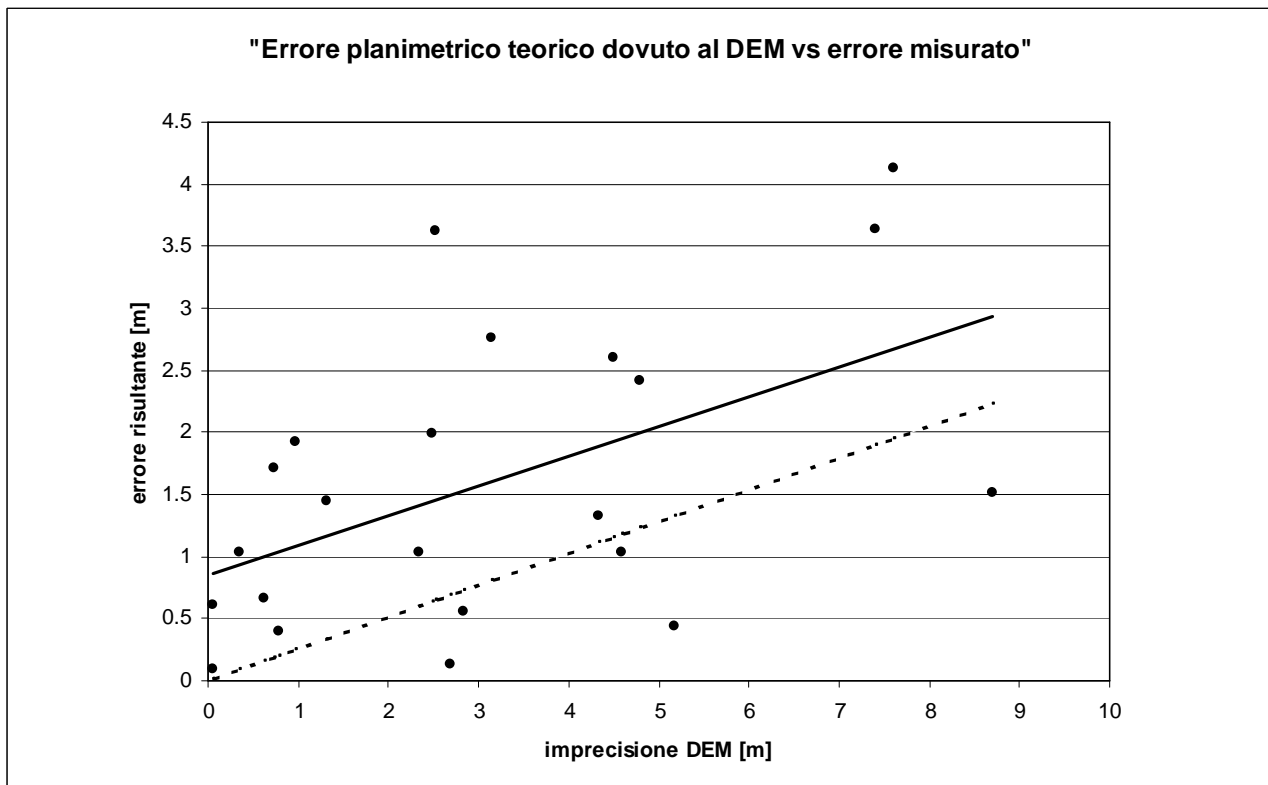


Figura 4 – Errore lineare teorico lungo l'asse X dovuto al DEM (linea tratteggiata) vs. errore realmente misurato (linea continua) sui punti di check

Commenti

I risultati mostrano come l'impiego del DEM DUDES consenta un processamento geometrico delle immagini satellitari in linea con le attese, sia in termini di qualità geometrica del prodotto ortorettificato che in termini di qualità visiva dello stesso. Il DEM DUDES ha consentito un corretto processamento, come scontato, dell'immagine Landsat, caratterizzata da pixel size dello stesso ordine di grandezza di quello del DEM, con qualità visiva molto buona. Anche con l'immagine Spot pancromatica, con pixel size di 5 metri, la correzione operata con il DEM DUDES ha prodotto un risultato molto soddisfacente, con scarti nei punti di check, indipendenti da quelli usati per l'orientamento, molto buoni e comunque comparabili con la dimensione del pixel. Anche in questo caso la qualità visiva è molto buona.

Nel caso del processamento dell'immagine QuickBird ad alta risoluzione, l'impiego di un DTM di accuratezza media quale il DUDES ha introdotto, visto anche l'angolo di acquisizione non proprio contenuto dell'immagine, degli errori nel prodotto finale, ma assolutamente in linea con quelli stimabili a priori in modo molto approssimativo. Le note positive nell'impiego del DEM DUDES sono legate alla sua risoluzione geometrica elevata, che consente di tener conto di variazioni repentine dell'andamento plano-altimetrico, senza che l'ortoimmagine risultante mostri aberrazioni sensibili, così come alla sua omogeneità ed alla facile reperibilità a livello nazionale anche su aree limitate. Per contro, nel caso in cui sia necessario processare immagini ad alta risoluzione in modo da ottenere prodotti con scale di riferimento dell'1:10.000 – 1:5.000, l'impiego del DEM DUDES andrebbe preso in considerazione solo nel caso in cui non fossero disponibili altre tipologie di DEM più dettagliati

