

# Metodi di validazione di DEM matriciali

di V. Franchina e A. Novella

Con l'avvento delle tecnologie IT e della fotogrammetria digitale, la diffusione dei modelli digitali del terreno ha subito una forte accelerazione. DEM, DTM, DSM, sono tutti prodotti che permettono di rappresentare i cosiddetti modelli digitali 3D sia del terreno che della componente antropica come le aree urbanizzate. Il trattamento di tali informazione riveste particolare importanza, e con ciò gli strumenti per effettuare verifiche e validazione dei dati stessi. Nell'articolo che segue vengono analizzate le problematiche connesse alla validazione dei DEM matriciali.

La disponibilità di dati territoriali gratuiti o a basso costo sembra aver diminuito la qualità media. Vengono qui analizzati i modelli orografici (DEM) matriciali, composti da una semina a passo costante di valori di quota che esprimono l'altezza media dei punti del terreno circostanti il centro delle celle.

Si tratta di specie di *terrazze*, se non si adottano interpolazioni. Con una interpolazione di livello uno (lineare), la quota di ogni punto viene invece calcolata, ad esempio con un algoritmo LCM (Linear Correcting Method), da quella dei quattro valori circostanti della matrice. La superficie risultante è poi approssimabile con una struttura di tessere piane triangolari.

Un DEM matriciale può includere valori di quota non medi ma modali o, per applicazioni aeronautiche, addirittura massimi.

I principali problemi che insorgono quando si dispone di un DEM matriciale riguardano la qualifica del suo contenuto. Intanto può accadere che il DEM stesso sia organizzato in coordinate terrestri (quindi ortogonali proiettate) mentre l'applicazione, come nel caso degli strumenti di pianificazione radioelettrica di Vector, richiede una organizzazione a passo geografico.

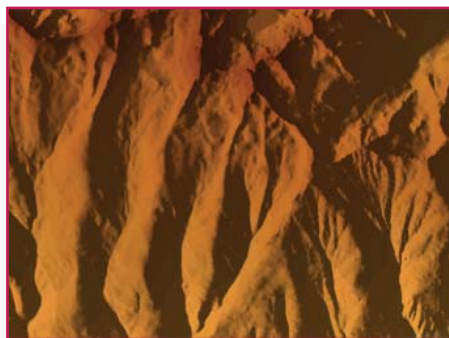
Si rende dunque necessaria una trasformazione (de-proiezione). Occasionalmente può anche avvenire il contrario.

La georeferenziazione va stabilita ex novo nel caso di informazioni incomplete; occorre in ogni caso controllare alcuni punti significativi in elevazione per accertarsi della qualità complessiva del prodotto. Queste operazioni, concettualmente semplici, presentano difficoltà pratiche e costi aggiuntivi che potrebbero talvolta far preferire un DEM più costoso ad uno gratuito ma bisognoso di verifiche.

Le principali aree di intervento sono:

- ✓ il passaggio da dati proiettati a de-proiettati o viceversa
- ✓ la georeferenziazione
- ✓ il controllo delle quote in punti notevoli (non avendo senso un controllo integrale che rigenera il DEM)

Prima di analizzare questi punti più in dettaglio, occorre una (purtroppo spiacevole) premessa. La tecnologia di posizionamento planare GPS, che ha conseguito risultati notevoli per semplicità d'uso, risoluzione, precisione e affidabilità, non fornisce simili prestazioni per le quote, che dipendono dal modello utilizzato per il geode. Operando in modo incrementale rispetto alla quota di punti geodetici vicini si hanno buoni risultati, ma la metodologia si complica.



Esperienze pratiche mettono in evidenza che i risultati possono essere accettabili se si opera con attenzione e con validi strumenti software.

## Cambio di proiezione dei dati

Passando da un riferimento proiettato ad uno non proiettato o viceversa, si ha una interpolazione non lineare. L'insorgenza di fastidiosi *aliasing* e il ricorso al filtraggio sono quasi inevitabili.

Se poi i dati hanno già subito il processo simmetrico di quello eseguito, una DOPPIA conversione può renderli inutilizzabili! Anche usando strumenti abbastanza sofisticati (come WinCEM di Vector) il risultato è spesso deludente. Come regola generale bisognerebbe risalire verso la fonte dei dati: ma questo è più facile a dirsi (o scriversi) che a farsi.

Esperienze pratiche mettono per fortuna in evidenza che i risultati possono essere accettabili se si opera con attenzione e con validi strumenti software.

## Georeferenziazione

Anche se i dati originali riportano indicazioni sul posizionamento (in teoria dovrebbero sempre averli, ma in pratica...), per verificarne la georeferenziazione occorrono le coordinate di un numero di punti nel modello e nella realtà (oppure in un altro modello qualificato). Ma in un DEM è intrinseca la mancanza di punti identificabili con certezza: lo spigolo di un fabbricato, il vertice di un campanile, a meno che le quote includano appunto l'edificio fuori terra.



Per giudicare – almeno visivamente – i risultati del lavoro si può sovrapporre il layer del DEM, in scala cromatica, su strati del modello posizionati per altra via (cartografia vettoriale, ortofoto, un altro DEM qualitativamente migliore). Gli scostamenti sono in genere impietosamente evidenziati.

il layer del DEM, in scala cromatica, su strati del modello posizionati per altra via (cartografia vettoriale, ortofoto, un altro DEM qualitativamente migliore); gli scostamenti sono in genere impietosamente evidenziati.

### Il controllo delle quote in punti notevoli

È stato ricordato che un DEM di elevata qualità è inerentemente costoso. Nelle applicazioni di progettazione radioelettrica, ma non solo, è richiesta la disponibilità di DEM ad alta risoluzione. Lasciando da parte quelli metrici o sub-metrici, utilizzati in limitate porzioni di territorio urbano e prodotti ad hoc (altimetria laser, ecc.), una copertura generale del territorio a passo dell'ordine di 10 metri è una necessità diffusa.

È facile calcolare la quantità di dati che compongono la matrice e il loro costo. È allora invalsa la pratica di dedurre DEM a risoluzione più spinta interpolando altri meno risolvienti: ma è un procedimento di estrema pericolosità.

Se si dispone di dati quantizzati relativi ad un fenomeno fisico, ad esempio temperatura locale, umidità, etc., e questo ha un andamento *regolare* (in termini spettrali, con limitate componenti a frequenza elevata) è ragionevole ricorrere all'interpolazione per ottenere dati con quantizzazione infittita.

Questo non vale per l'altimetria. Anche nella pianura più levigata può trovarsi un piccolo conglomerato roccioso che sfugge a qualsiasi interpolazione. Lo stesso avviene per brusche variazioni di quota (terreno terrazzato, ecc.).

Ma esiste anche un altro subdolo problema, dovuto al fatto che nel caso del DEM si tratta di interpolazione bidimensionale. Per quanto si adottino

tecniche interpolative raffinate, il procedimento ha caratteristiche di filtro passa-basso: ne deriva che i punti di quota massima e minima relativa verranno alterati rispettivamente in diminuzione e in crescita. Anche ricorrendo a ben noti artifici, come quello di mantenere inalterata la quota di tali punti, si sviluppano alterazioni visibili con una semplice presentazione in scala cromatica.

Così si finisce con il disporre di un DEM che, benché nominalmente più fitto di quello di origine, risulta potenzialmente MENO rappresentativo del terreno a cui fa riferimento! Questo è l'aspetto tecnico, già abbastanza sgradevole: ma c'è quello economico, visto che si rischia di pagare di più (il costo dei DEM aumenta all'aumentare della risoluzione) per un prodotto più scadente.

Non esistono metodi assolutamente affidabili per stabilire se un DEM è ottenuto da una interpolazione, ma già la sola ispezione visiva permette di individuare elementi sospetti. Poi, con un insieme di punti di quota estrema relativa (sempre quelli...) è possibile confrontarne i valori con quelli del DEM. Se gli originali di massima hanno quota maggiore e il contrario accade per quelli di minima, è praticamente certo che si tratta di un DEM interpolato. Grandi dubbi vengono anche se hanno quote identiche, visto che, in genere, l'interpolazione di un DEM grigliato impedisce la conservazione dei valori estremali locali. Per eludere questo controllo, alcuni spregiudicati interpolatori utilizzano l'artificio di introdurre *rumore*, ossia piccole variazioni casuali di quota. Ma anche così non è facile uscirne indenni.

In conclusione, scoprire DEM artificialmente risolvienti è certo possibile, anche se capita spesso di imbattersi in DEM interpolati grossolanamente e ciò nonostante presi (e pagati) come oracoli.

Con quali conseguenze sulla progettazione di una rete radio è facile immaginare.

#### Autori

VALERIO FRANCHINA  
ANTONIO NOVELLA  
VECTOR s.r.l. - Gruppo Citec  
Via di Saponara, 650 - 00125 Acilia (Roma)  
Tel. +39.06.523021 - Fax +39.06.52302256  
Web: [www.vectorweb.it](http://www.vectorweb.it)  
E-mail: [info@vectorweb.it](mailto:info@vectorweb.it)

Esempio di un riscontro di un DEM con una ortofoto. Sono stati marcati gli spigoli e successivamente confrontati con il DEM originale

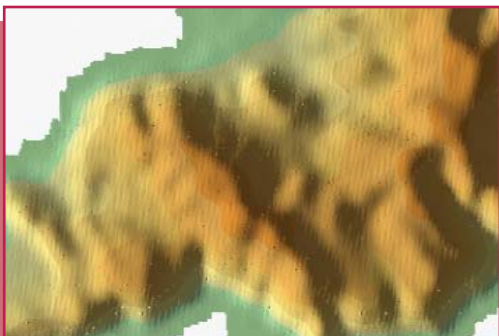
Usare i punti di massimo o minimo relativo è rischioso, perché le loro quote possono essere state mediate con altre e il posizionamento planare è situato sugli assi del grigliato della matrice, non nella effettiva locazione. Questo può essere l'origine di grossi mal di capo. Oppure si può ricorrere a metodi matematico-statistici: con un buon numero di punti noti, in coordinate e in quota, si posiziona il DEM in modo che sia minimizzato un indicatore come l'onnipresente somma dei quadrati degli scarti in quota.

L'operazione descritta non è destinata sempre al successo. Prima di tutto, sia per il tempo di elaborazione che per evitare equivoci, va limitato lo scorrimento nel calcolo degli scarti in quota. Questo implica un pre-posizionamento approssimato. Poi vanno considerati gli spostamenti delle quote di cella dal loro centro alla reale posizione dei punti quotati.

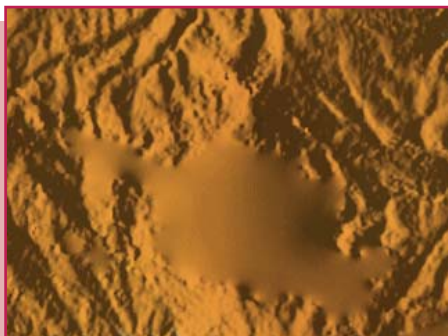
Infine, la semina delle quote del DEM non deve essere affetta da distorsioni, magari non lineari, causate durante la generazione (che potrebbe aver incluso il passaggio di cartografia da scanner).

Queste distorsioni sono correggibili efficacemente con la georeferenziazione di numerosi punti notevoli, ma questa manca ancora nel caso in esame.

Per giudicare, almeno visivamente, i risultati del lavoro si può sovrapporre



Esempio di DEM ricavato per interpolazione da una risoluzione inferiore, si nota la generale carenza di contrasto, oltre ai disturbi prodotti dalla forzatura di punti noti, ed all'effetto strisce diagonali, dovuto al passaggio da coordinate non proiettate a proiettate.



Esempio di un DEM in cui un'ampia area evidentemente scoperta, cioè non rilevata, è stata generata per interpolazione dai bordi circostanti.