

## **Alcune considerazioni sul ricampionamento di modelli digitali a maglia regolare per il cambio di sistema di riferimento**

Virgilio Cima (\*), Dalia Del Nista (\*\*), Marco Guiducci (\*\*\*)

(\*) Libero professionista, virgiliocima@tin.it

(\*\*) Regione Toscana, Ufficio tecnico del Genio Civile di Area vasta Livorno-Lucca-Pisa, dalia.delnista@regione.toscana.it

(\*\*\*) Regione Toscana, Sistema informativo territoriale ed ambientale, marco.guiducci@regione.toscana.it

### **Riassunto**

L'applicazione di una trasformazione di coordinate ad un modello digitale a maglia regolare può comportare la necessità di un ricampionamento dei dati. Alcuni aspetti del ricampionamento vengono analizzati sulla base di un'esperienza reale di applicazione della trasformazione di coordinate ai dati del rilievo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente. I dati *raster* del modello digitale del terreno sono disponibili in formato ASCII-Grid, in coordinate geografiche. Per l'utilizzo dei dati in alcuni ambienti software e per la comparazione con altri dati esistenti è utile convertire i file in coordinate piane, pur all'interno dello stesso sistema geodetico. L'esigenza del ricampionamento deriva dal fatto che i nodi della griglia geografica, inizialmente regolare, in seguito alla trasformazione in coordinate piane vengono a trovarsi approssimativamente allineati lungo una griglia ruotata rispetto agli assi del sistema, con le distanze fra i nodi in direzione est-ovest sensibilmente diverse da quelle in direzione nord-sud. Viene analizzato il comportamento del modello al variare delle condizioni imposte nella procedura di ricampionamento, verificando la restituzione di alcuni particolari morfologici del territorio in relazione ai parametri caratteristici del rilievo iniziale (densità dei dati, accuratezza planimetrica ed altimetrica).

### **Abstract**

The conversion from geographical to projected coordinates of a grid model may require a data resampling. Some aspects of digital models resampling are analysed on the basis of a real experience, in which coordinates transformation is applied to LiDAR (*Light Detection and Ranging*) data which are available from Italian Ministero dell'Ambiente (Ministry of the Environment). The digital terrain model data are stored as geographic coordinates in ASCII-Grid format. Data managing in specific software applications and interoperability with previous data, require a data projection into a cartographic coordinate system, even within the same geodetic datum. Resampling is necessary because the projected grid nodes aren't aligned on a regular grid: distances between rows and columns are different and the entire grid is rotated as regards the coordinate system axes. Model behaviour is analysed at the changing of procedure settings in resampling, and model issues are tested in correspondence to morphologic terrain details.

### **Introduzione**

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha recentemente messo a disposizione i dati dei rilievi LiDAR relativi a porzioni del territorio nazionale, prodotti nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A). I dati sono fruibili sia nel loro formato grezzo, (nuvola di punti) sia quali modelli digitali del terreno e delle superfici, (DTM e DSM). Questi ultimi sono resi in formato *raster* ASCII Grid, che assume, salvo che per le aree costiere e le isole, le dimensioni  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$  gradi decimali con celle di passo  $0,00001^\circ$  in modo che ogni "mattonella" ne contenga  $1000 \times 1000$ .

La qualità metrica dichiarata del rilievo è di 15 cm in altimetria 30 cm in planimetria. Alla latitudine media per la Toscana, un riquadro geografico di  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$  corrisponde sul terreno ad un'area di circa 800 m x 1100 m, mentre la cella di  $0,00001^\circ$  corrisponde a circa 0.8 m x 1.1 m.

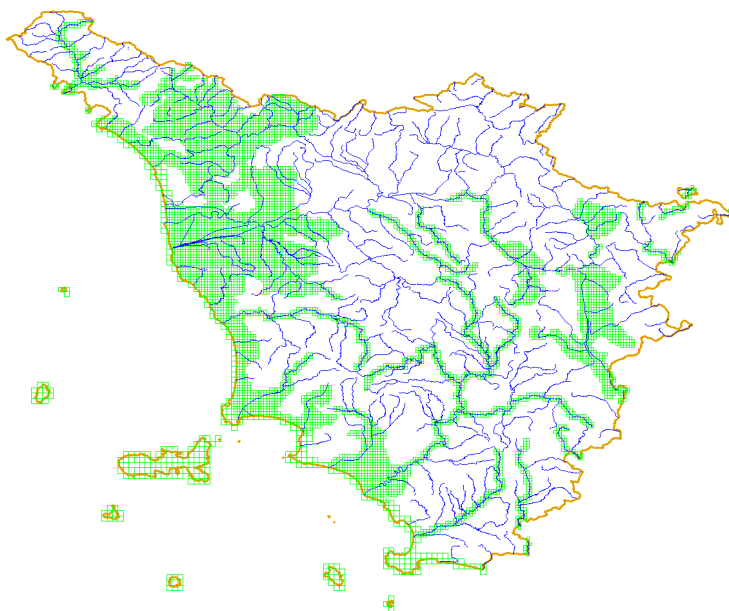
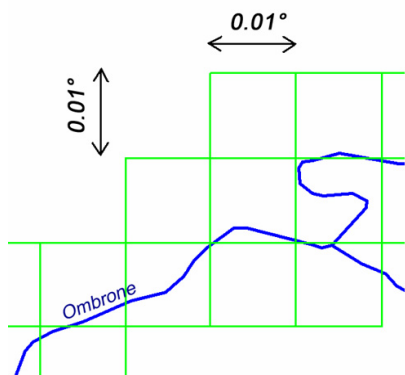


Figura 1 – Zone rilevate sul territorio toscano nell'ambito del PST-A.



Fornitura di dati LiDAR:

Modelli digitali a maglia quadrata  
in coordinate geografiche  
organizzati in *tile* di  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$   
(circa 800 m x 1100 m)  
ogni *tile* contiene 1000 x 1000 celle  
con passo:  $0.00001^\circ$  (circa 0.8 m x 1.1 m)  
qualità metrica:  
15 cm in altimetria  
30 cm in planimetria

Figura 2 – Particolare del quadro d'unione e riepilogo delle caratteristiche della fornitura.

Per l'utilizzo dei dati in alcuni ambienti *software* e per la loro comparazione ed analisi con la maggior parte della banca dati topografica della Regione Toscana, in particolare la Carta Tecnica Numerica ed i suoi derivati, come il modello digitale del terreno, il reticolo idrografico ed i modelli idraulici ad esso associati, è utile convertire i *file* in coordinate piane UTM.

La procedura di proiezione in coordinate piane dei *file* ASCII Grid espressi in coordinate geografiche comporta alcune scelte operative, che scaturiscono da noti problemi tecnici e che vengono illustrate nel seguito. I dati sono memorizzati nel formato ASCII-Grid, che realizza la georeferenziazione delle informazioni del modello mediante le seguenti impostazioni, riportate nelle prime 6 righe del file (*header*):

```

NCOLS 1640
NROWS 1240
XLLCENTER 675950.500
YLLCENTER 4846765.500
CELLSIZE 1
NODATA_VALUE -9999.000

```

Nel resto del file seguono i dati che costituiscono il modello di elevazione, espressi mediante una sequenza di valori numerici, ognuno dei quali corrispondente ad una cella della maglia.

### Proiezione

In figura 3a è mostrata un porzione del Grid a maglia quadrata geografica. Sono indicati anche i centri delle celle, ai quali verrà applicata la proiezione UTM. In figura 3b sono mostrati i centri cella proiettati (di colore verde) e, di colore fucsia, la nuova maglia quadrata, metrica, quale dato da calcolare ed utile agli scopi descritti in premessa.

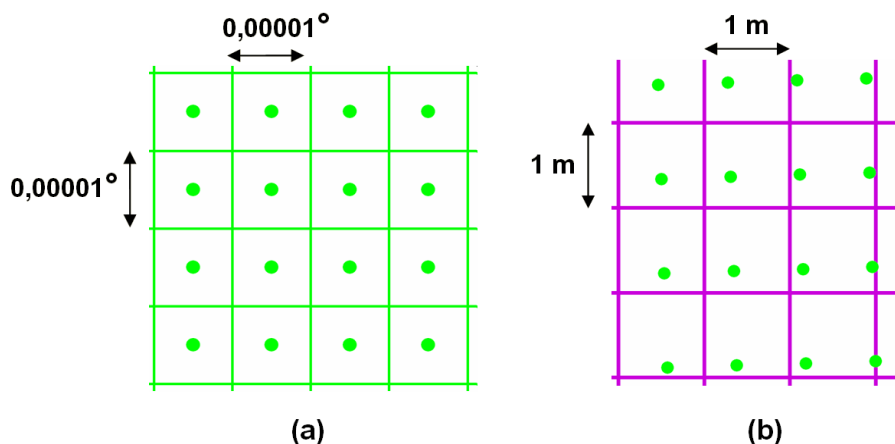


Figura 3 – (a) porzione di Grid a maglia quadrata geografica;  
(b) i centri cella proiettati e la nuova maglia regolare metrica.

La figura 3b rende evidente che occorre stabilire il valore più opportuno della dimensione della cella metrica nonché la strategia più idonea per attribuire il valore di quota alla cella stessa.

In merito alla dimensione della cella occorre tener conto sia della natura del fenomeno rilevato, il terreno, sia delle caratteristiche della sua modellazione, alla luce delle teorie del campionamento (Nyquist-Shannon, 1949), considerando il campionamento del dato originale come modello (analogico) di cui preservare l'informazione.

Si evidenzia che la scelta di un passo della cella più fine di quello di partenza, come suggerito dalle teorie sopra citate, comporta un aumento considerevole delle dimensioni dei *file* (un passo di campionamento doppio comporta file quattro volte più grandi), mentre un passo più grande provoca un degrado dell'informazione.

Inoltre, l'impiego del formato ASCII-Grid impone la tipologia della griglia a maglia quadrata. In tale formato ogni valore di elevazione è espresso in modo puntuale, ma la sua validità ai fini della modellazione va interpretata in relazione alla porzione areale di territorio che compete alla cella.

La proiezione sul piano cartografico agisce sui singoli punti; nel sistema di riferimento piano, essi si trovano posizionati secondo una distribuzione non più allineata ad una maglia quadrata. L'interdistanza fra i punti non è costante e gli allineamenti lungo righe e colonne, che nei dati di partenza corrispondevano a meridiani e paralleli, vengono a trovarsi sulle corrispondenti trasformate. Alla latitudine media per la Toscana i punti sono distanti circa 1.1 m in direzione nord e 0.80 m in direzione est. Considerata l'estensione geografica di ogni *tile* e il valore del passo della maglia di partenza, la variabilità dell'interdistanza fra i singoli punti e la non linearità degli allineamenti di righe e colonne risultano di fatto trascurabili. Non risultano invece trascurabili la differenza fra l'interdistanza in direzione est-ovest e quella in direzione nord-sud, nonché l'orientamento dell'intera maglia di punti, che nel sistema di riferimento cartografico è ruotata rispetto agli assi di un valore che in Toscana supera i 2° (convergenza del meridiano). Nella scelta del passo di campionamento occorre tenere in considerazione tutte le circostanze sopra descritte, unitamente al fatto che il rilievo LiDAR del progetto PST-A è impostato per ottenere una densità di punti per metro quadrato di 1.6, funzionale ad una maglia regolare di 1x1 m, con una qualità planimetrica di 0.30 m.

### Ricampionamento

Oltre al passo della maglia occorre stabilire la strategia più idonea per il calcolo del valore di quota da attribuire alla singola cella. Il sistema implementato prevede due possibilità: *nearest* e bilineare.

Nel contesto applicativo sono state esaminate le peculiarità di entrambi i metodi. In figura 4 sono schematizzati due ipotetici andamenti della superficie: quello di sinistra con discontinuità accentuate, come quelle che si hanno in presenza di fabbricati (DSM) oppure di opere di sostegno del terreno o di contenimento delle acque (DTM); il profilo di destra rappresenta invece un terreno naturale con pendenze meno accentuate.

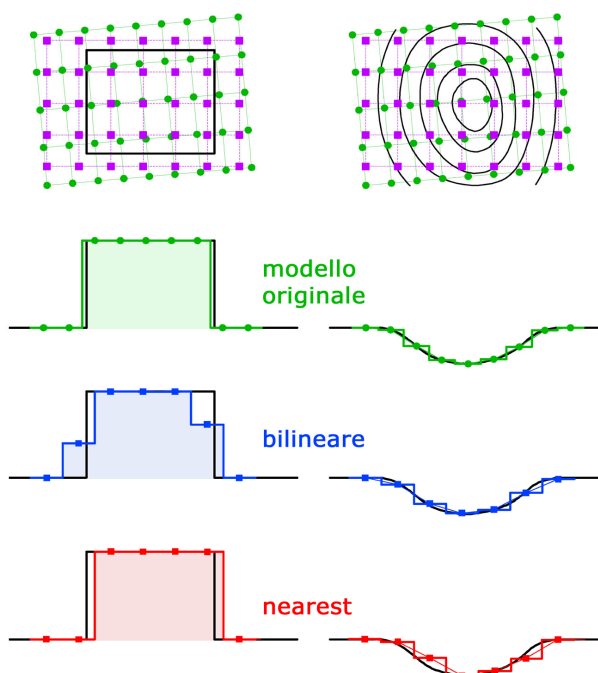
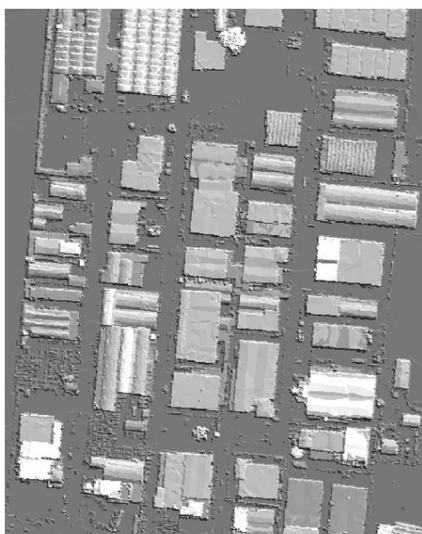


Figura 4 – Profili ottenuti con interpolazione bilineare e nearest.

Evidente è il diverso comportamento del calcolo: esaminando il profilo ottenuto con modalità *nearest* (rosso) si nota come venga preservata meglio la “forma” nel caso di sinistra, con il solo effetto di traslazione del dato, dovuto al non allineamento delle due griglie. Tale traslazione può essere al massimo pari alla metà della griglia di destinazione, che nel contesto applicativo risulta paragonabile alla qualità planimetrica del dato di partenza. Nel caso del terreno naturale invece il criterio *nearest* risulta meno adeguato. L’interpolazione bilineare (blu) si comporta in modo sostanzialmente opposto: modella in modo migliore il caso del terreno a destra e risulta invece meno adeguata al caso delle brusche variazioni altimetriche a sinistra, per le quali inserisce valori di quota inesistenti nel dato di partenza. Tali constatazioni fanno considerare l’interpolazione bilineare migliore per il DTM in terreni a bassa frequenza di variazione di pendenza e la modalità *nearest* senz’altro più adeguata per i DSM. Per approfondimento e ad ulteriore conferma è stato eseguito un calcolo dei volumi di edificato di una porzione di territorio di circa 400 per 500 metri:



Volumi rispetto alla quota zero:

**DSM bilineare:** 3330879 m<sup>3</sup>  
**DSM nearest:** 3331545 m<sup>3</sup>  
**DTM bilineare:** 2792392 m<sup>3</sup>  
**DTM nearest:** 2792399 m<sup>3</sup>

Differenze DSM-DTM:

**DSM<sub>bil</sub> - DTM<sub>bil</sub>:** 538487 m<sup>3</sup>  
**DSM<sub>nea</sub> - DTM<sub>bil</sub>:** 539153 m<sup>3</sup>

Figura 5 – Differenza di computo dei volumi tra bilineare e nearest.

Si noti come il caso in esame rispecchi quanto esposto precedentemente: i volumi calcolati sul DTM sono pressoché identici, mentre quelli calcolati sul DSM presentano una differenza maggiore tra bilineare e *nearest*. Questo fatto si riflette su un eventuale computo dei volumi edificati, ottenuti per differenza tra DSM e DTM. Gli scostamenti percentuali dell’ordine dello 0,02% ci inducono però a ritenere trascurabile la differenza fra i due metodi di interpolazione, almeno relativamente alle caratteristiche dei dati da elaborare.

Se si adotta però la soluzione di utilizzare due metodologie diverse per il calcolo del DSM e del DTM (ad esempio *nearest* nel primo caso e bilineare nel secondo) occorre tener presente che i due modelli presenteranno valori leggermente diversi anche in corrispondenza del terreno naturale, dovuti al diverso comportamento delle interpolazioni. In tali situazioni eventuali applicazioni di *map algebra* per la restituzione dei volumi in elevazione mediante sottrazione di superfici dovranno filtrare tali residui, considerandoli rumore.

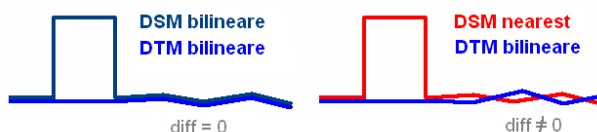


Figura 6 – Differenze fra le interpolazioni bilineare e nearest sul terreno naturale.

### Mosaicatura dei *tile*

I dati originali in coordinate geografiche coprono l'area rilevata con continuità: i vari *tile* sono fra loro adiacenti e la distanza fra l'ultima riga o colonna di un *tile* e la prima del *tile* adiacente è esattamente di un passo, in modo che le corrispondenti celle risultino in contatto.

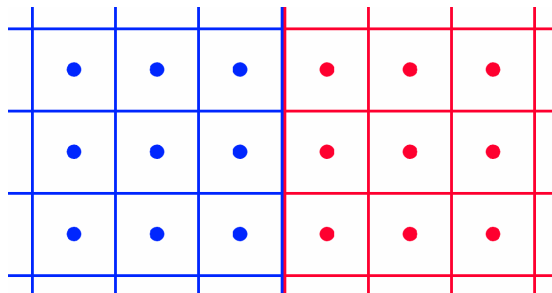


Figura 7 – Tile adiacenti.

La stessa situazione dovrà essere ricreata per i modelli convertiti in coordinate cartografiche, in seguito al ricampionamento. Se ogni *tile* venisse convertito in modo indipendente dagli altri, risulterebbero dei valori di *no data* nella parte più esterna, a causa della rotazione fra i sistemi di riferimento. Inoltre, l'interpolazione bilineare non funzionerebbe correttamente nella porzione di territorio, di larghezza pari alla metà del passo, che ricade fra l'ultima riga o colonna di valori puntuali e l'effettivo bordo esterno del *tile*. Il metodo implementato dalla Regione Toscana per il ricampionamento e l'ottenimento dei grid finali assolve anche al compito di generare *tile* completamente riempiti, in modo da ottenere con un'unica elaborazione un nuovo set di ASCII Grid, proiettati, ricampionanti e tagliati sul quadro d'unione adottato dalla Regione Toscana, corrispondente a quello della Carta tecnica numerica in scala 1:2000.

### Conclusioni

Il sistema implementato risponde all'esigenza pratica di utilizzo dei dati nei sistemi attualmente in possesso della Regione Toscana e degli uffici tecnici relativi ed è sufficientemente elastico nell'adeguarsi a diverse realtà territoriali, potendo impostare i vari parametri come il passo della cella, il metodo di interpolazione, il numero di righe e colonne dei grid finali. Alla luce delle considerazioni espresse in queste pagine, tese a verificare che le procedure realizzate fossero in linea con i dati in oggetto e non introducessero anomalie dovute a sistematismi di calcolo, le impostazioni scelte dalla Regione Toscana per la conversione dei dati LiDAR mediante ricampionamento sono le seguenti:

- passo della cella 1 m (per le aree a griglia 0,00001°)
- interpolazione bilineare
- taglio piano corrispondente al quello della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000

### Bibliografia

- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Difesa del Suolo (2007), "Disciplinare Tecnico del Piano straordinario di telerilevamento ambientale ad alta precisione per le aree ad elevato rischio idrogeologico", *Gazzetta Ufficiale Europea del 9 Agosto 2007* n S152
- National Digital Elevation Program (2004), *Guidelines for Digital Elevation Data Version 1.0*, disponibile on-line all'indirizzo: [http://www.ndep.gov/NDEP\\_Elevation\\_Guidelines\\_Ver1\\_10May2004.pdf](http://www.ndep.gov/NDEP_Elevation_Guidelines_Ver1_10May2004.pdf) (ultima consultazione agosto 2011)
- FEMA (2003), *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners, Appendix A: Guidance for Aerial Mapping and Surveying*, disponibile online all'indirizzo: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2206> (ultima consultazione agosto 2011)
- Franchi N. (1979), *Elementi di cartografia*, Istituto Geografico Militare, Firenze
- Shannon C. E. (1949), "Communication in the presence of noise", *Proc. Institute of Radio Engineers*, vol. 37, no.1, pp. 10–21