

# GEO MEDIA

[www.rivistageomedia.it](http://www.rivistageomedia.it)

Rivista bimestrale - anno 14 - Numero 4/2010  
Sped. in abb. postale 70% - Filiale di Roma

La prima rivista italiana di  
geomatich e geografia intelligente

N°4  
2010



## GENERAZIONE PDA USABILITÀ E TECNOLOGIE

- ▶ La gestione del Rischio nei Trasporti  
Scenari e Strumenti per la Mitigazione  
del Rischio
- ▶ iPhone e Applicazioni Geomatiche  
Una Guida alle Applicazioni più  
Interessanti
- ▶ L'eccellenza Cartografica è Marchigiana  
Il Premio Geoportali 2009 va  
al Comune di Jesi
- ▶ MDVLab e INGV: in volo sull'Antartide  
Droni e Telerilevamento al Servizio  
dell'ambiente

# Modello altimetrico di precisione a basso costo su un'area di ampie dimensioni

di Marco Gatti e Alessio Casetto

Viene proposta in quest'articolo una interessante risultanza di realizzazione di modelli altimetrici del terreno con rilievo diretto sul campo di 1.500 punti che vanno ad integrare i punti geodetici esistenti su un territorio di circa 100.000 ettari abbattendo così i costi delle normali operazioni realizzate spesso in modalità indiretta tramite tecniche aerofotogrammetriche.

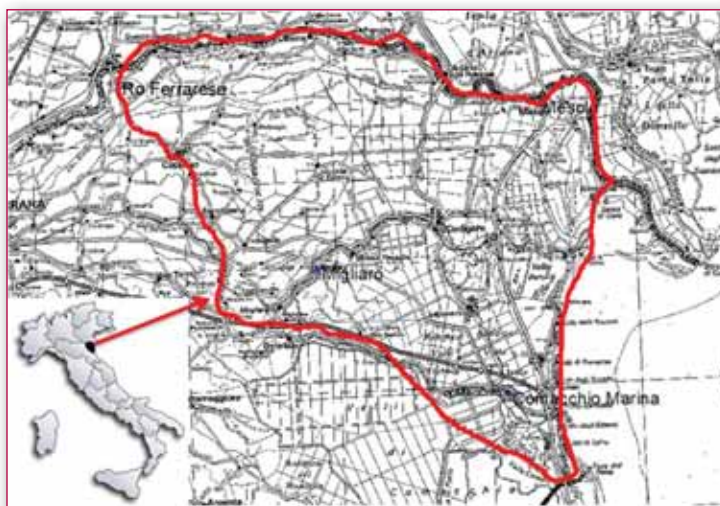


Figura 1 - Area interessata dalla realizzazione del modello altimetrico.

Le tecniche più semplici per rappresentare l'andamento tridimensionale di un terreno sono costituite dalle proiezioni cartografiche quotate, per punti o per curve di livello. Queste tecniche associano ad una posizione planimetrica sulla carta il corrispondente valore numerico della quota.

La disponibilità di questi dati ha offerto lo spunto per estrarre, da alcune Carte Tecniche Regionali (per l'esattezza 180), alla scala nominale 1:5.000, il loro contenuto altimetrico di impianto.

Tale contenuto è stato poi impiegato per la realizzazione di un modello altimetrico del terreno, sufficientemente accurato per la realizzazione di un progetto idraulico del territorio. L'area interessata ha un'estensione di circa 100.000 ettari.

L'estrazione dei punti dalla carta e la trascrizione delle loro quote di impianto, su supporto informatico, sono state eseguite in un ambiente dedicato, utilizzando una routine di trascrizione, validazione e registrazione dei dati.

## La tecnica TIN e il metodo di Delaunay

La tecnica TIN (*Triangulated Irregular Network*) è utile quando si intende produrre modelli costituiti da un insieme di punti quotati collegati da segmenti a formare una rete continua di triangoli. La scelta dei punti significativi può basarsi su vari metodi, così come il collegamento dei punti può avvenire secondo vari criteri (ad esempio il criterio di Delaunay) che assicurino la continuità della superficie. La superficie di ogni triangolo è definita dall'elevazione dei suoi tre vertici ed in genere è assunta piana.

L'interpolazione delle quote, circa 131.000, è stata effettuata nello stesso ambiente, attraverso gli algoritmi propri della tecnica TIN (*Triangulated Irregular Network*), con il metodo di Delaunay (vedi box).

Poiché il modello ottenuto non possedeva una accuratezza idonea agli scopi idraulici, si sono rilevati, plano-altimetricamente, 1.550 punti ad esso appartenenti.

Il rilevamento è stato compiuto con la tecnica GPS ad una via nelle modalità Navcom Starfire e VRS.

I punti rilevati, opportunamente ridotti al datum cartografico nazionale ed a livello medio mare, sono stati utilizzati per eseguire il 'bilanciamento' delle sue quote, ovvero nell'apportare ai punti di interpolazione di ciascun elemento di CTR una correzione, in valore e segno, pari alla media delle differenze tra la quota del modello e quella misurata.

Una successiva verifica sul modello bilanciato ha denunciato scostamenti in quota inferiori, nella maggioranza dei casi, ai 30cm.

Nell'articolo vengono anche valutati i costi della realizzazione e confrontati con quelli di altre tecniche.

## Il modello altimetrico

Il modello è stato realizzato in un'area nel basso ferrarese (Figura 1), avente un'estensione di circa 100.000 ettari (equivalenti a 1.700km<sup>2</sup>).

Il dato altimetrico proviene da 180 tavolette, alla scala nominale 1:5.000, della Carta Tecnica Regionale realizzata, tra gli anni 1973-1980, dalla Regione Emilia Romagna per aereo- fotogrammetria.

Ogni tavoletta (elemento) ha una estensione di 1'30" in latitudine e 2'30" in longitudine: l'altimetria è rappresen-





Figura 2 - Un'immagine dell'ambiente di registrazione e la finestra di inserimento dei valori numerici delle quote dei punti quotati.



Figura 3 - A destra finestra di inserimento del raggio di inclusione e del valore di soglia. A sinistra, verifica degli errori.

tata mediante punti quotati isolati, in un numero medio di 5 per ogni  $dm^2$  di superficie. Ogni punto è rappresentato con un valore numerico espresso in metri, approssimato al decimetro: in talune aree è stato possibile individuare valori con due cifre decimali, ottenuti da livellazioni locali eseguite, negli anni successivi all'impianto della carta, dai Consorzi di Bonifica.

L'estrazione dalla carta dei punti quotati e la trascrizione delle loro quote di impianto, su supporto informatico, è stata resa possibile riproducendo il supporto cartaceo in formato *raster* georeferito ed esplorando il formato in un ambiente *AutoCAD* dedicato. In quest'ambiente è possibile registrare la posizione planimetrica del punto, mediante un dispositivo di puntamento; per l'inserimento della quota è necessario utilizzare il comando 'proprietà punto' dell'ambiente CAD, trascrivendo il valore numerico da tastiera.

Al fine di ridurre i tempi di trascrizione e limitare gli errori di inserimento, sono state sviluppate due utility, nel linguaggio di programmazione *LISP*, presente all'interno dell'ambiente *AutoCAD*. Attraverso la prima utility, dopo aver registrato con il dispositivo di puntamento la posizione planimetrica del punto, compare a video una finestra di dialogo che invita l'operatore ad inserire, da tastiera, il valore numerico della quota. Il valore è visualizzato immediatamente a video, per consentire un rapido confronto con quello impresso sulla carta (Figura 2).

La seconda utility richiede la selezione a video dei punti registrati e, per ogni coppia di essi, calcola la distanza e la corrispondente differenza di quota, nell'intorno di un raggio, detto 'di inclusione', impostato dall'utente, in funzione della morfologia del terreno.

Se la differenza di quota risulta superiore ad un valore di soglia, i due punti vengono connessi con una linea.

In tal modo l'operatore è in grado di individuare immediatamente i punti che potrebbero essere affetti da errori di segno o di trascrizione ed, eventualmente, correggerli in quota.

Anche il valore di soglia viene impostato in funzione della morfologia del terreno (Figura 3).

Infine, la realizzazione del modello altimetrico digitale è stata ottenuta, nello stesso ambiente, per interpolazione di circa 131.000 quote, raggruppate nello stesso file di testo, attraverso gli algoritmi propri della tecnica TIN, con il metodo di Delaunay.

### Il modello altimetrico bilanciato

In generale le quote di impianto cartografico sono affette da errori che dipendono principalmente dalla tecnica di produzione della carta e dalla scala di rappresentazione.

Nella fattispecie, il capitolato d'appalto della Regione Emilia Romagna fissava in 1.20 metri, l'errore massimo per le quote altimetriche dei punti isolati.

Ritenendo che il modello non possedesse un'accuratezza sufficiente agli studi idraulici, si è deciso di eseguire un bilanciamento delle quote.

Il singolo elemento è stato suddiviso in nove riquadri, di estensione pari a circa  $1km^2$ , individuando al suo interno un punto il più possibile centrato (Figura 4).

Ogni punto del riquadro è stato rilevato sul terreno. In alcuni casi, il rilevamento è stato surrogato, quando possibile, acquisendo le coordinate tridimensionali di vertici già misurati da altri enti, nelle modalità GPS classica, RTK o topografica tradizionale. Va però sottolineato che le condizioni operative non hanno sempre consentito di rispettare il criterio di scelta: in alcuni casi i punti acquisiti per singolo elemento si sono ridotti a tre; in altri casi si è arrivati a dodici.

Pertanto, considerando 180 elementi, il numero dei punti rilevati ed acquisiti per bilanciare il modello, è risultato pari a 1.550.

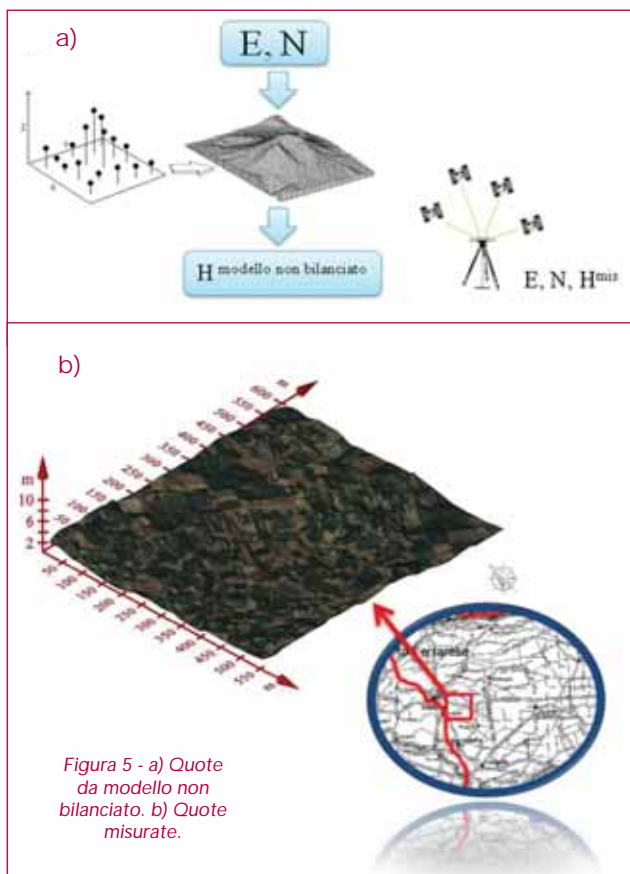
Le misure di campagna hanno occupato un operatore per circa cento giorni.

Le coordinate dei punti rilevati sono state opportunamente ridotte al datum cartografico della CTR ed al livello medio mare.

Per ogni elemento si è costruito il campione delle differenze tra le quote del modello 'non bilanciato' (Figura 5a), corrispondenti alle coordinate dei punti rilevati, e quelle di campagna (Figura 5b).



Figura 4 - Suddivisione di un generico elemento.



I valori campionari sono stati analizzati uno ad uno selezionando e, successivamente eliminando, quelli che, all'interno del campione, denunciavano forti anomalie. La procedura di selezione e di eliminazione proseguiva fino a che la deviazione standard della media delle differenze campionare, risultava inferiore a 30cm.

Di seguito viene riportata una tabella esemplificativa della procedura di bilanciamento, applicata all'elemento 186041. Sul totale di 1.550 punti di bilanciamento rilevati, sono state individuate ed eliminate circa 550 anomalie. Alle quote di interpolazione del singolo elemento veniva applicata, in valore e segno, la media delle differenze calcolata in precedenza. La procedura continuava per l'elemento successivo. Infine, dall'interpolazione dei punti quotati bilanciati di tutti gli elementi, si è generato il modello altimetrico 'corretto' o 'bilanciato' di cui si riporta un'immagine limitata a soli quattro elementi (Figura 6).

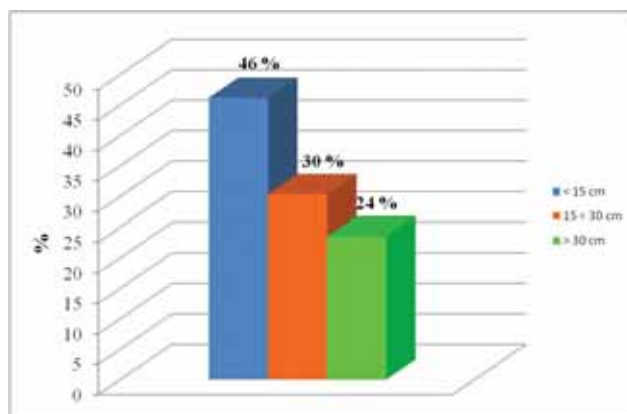


Figura 6 - Immagine del modello altimetrico bilanciato limitata a quattro elementi.

### L'accuratezza del modello bilanciato

Per valutare l'accuratezza del modello bilanciato, si è eseguita un'ulteriore campagna di misure nella quale sono stati rilevati, con la sola tecnica VRS, circa 150 punti sparsi su tutto il territorio interessato. Dal modello bilanciato, applicando lo stesso criterio visto al punto precedente, sono state estratte le quote della superficie confrontandole con quelle misurate. Le differenze sono state raggruppate in tre distinti gruppi di valori:

- minori di 15cm;
- dai 15 cm ai 30cm;
- maggiori di 30cm.

Le percentuali per ogni gruppo di valori sono riportate nel grafico di figura 7. Come si evince, il 46% delle differenze di quota è risultato inferiore a 15cm ed il 76% a 30cm.

### I costi del modello

Per valutare i costi del modello si sono considerati i seguenti fattori:

- Acquisizione e rasterizzazione degli elementi della Carta Tecnica Regionale;
- Estrazione dei punti quotati dalla carta, trascrizione della quota e ricerca di errori: totale 180 elementi;
- Operazioni di rilevamento e di acquisizione dei punti di bilanciamento: totale 1.550 punti;

Punto	Est (m)	Nord (m)	H <sup>mis</sup> (m)	H <sup>modello non bilanciato</sup> (m)	(m)	Anomalia
1	736161.99	985025.44	0.22	0.48	-0.26	
2	733730.46	985379.08	1.48	1.37	0.11	
3	733944.30	984713.94	1.02	0.64	0.37	
4	735359.16	985047.37	1.47	1.57	-0.10	
5	734351.51	985295.46	1.35	1.68	-0.33	
6	734838.06	984929.27	1.03	1.05	-0.02	
7	734958.31	985552.06	0.53	1.97		-1.44
8	734966.13	985554.20	0.92	1.93		-1.01
9	734916.19	984702.87	0.20	0.42	-0.22	
				Media (m)	-0.06	
				Dev. Std. (m)	0.24	

Tabella 1 - Esempio di procedura di bilanciamento applicata all'elemento 186041.

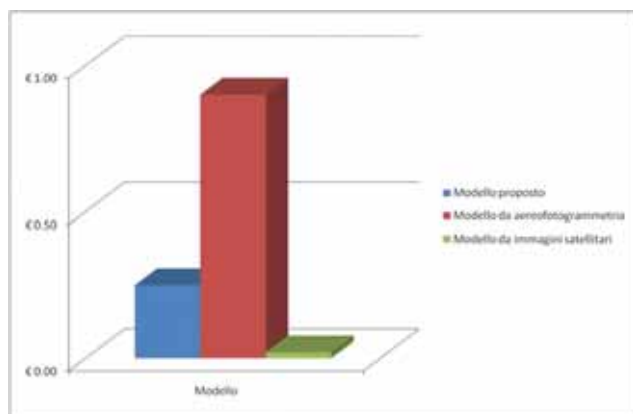


Figura 7 - Percentuali per ogni gruppo di valori.

- d) Bilanciamento delle quote di ogni singolo elemento: totale circa 180 elementi;
- e) Tempi di calcolo e di elaborazione.

I costi sono stati stimati per un periodo di realizzazione pari a circa 5 mesi, non ritenendo di considerare quelli derivanti dalle misure di verifica della sua accuratezza. Contemporaneamente sono state condotte alcune indagini di mercato, presso ditte operanti nel settore della realizzazione di modelli altimetrici.

A parità di densità di punti acquisiti, se si opta per un modello di pari precisione, come per esempio un modello aereo fotogrammetrico, le ditte propongono un costo a punto fino a tre volte maggiore; viceversa, se ci accontenta di un modello meno preciso (un metro di accuratezza), per esempio da presa satellitare, i costi a punto si possono ridurre fino a dieci volte.

### Conclusioni

Il recupero del patrimonio cartografico esistente e i ridotti costi di realizzazione, rendono il modello una valida alternativa alle tecniche di rilevamento da piattaforma aerea o satellitare.

Alla fine del 2007 il 'modello bilanciato' è stato consegnato ad una *multiutility* del basso ferrarese, operante nel settore idrico, che lo sta utilizzando per la modellazione idraulica della sua rete di acquedotto.

### Riferimenti

Regione Emilia Romagna.  
Capitolato della Carta Tecnica Regionale.

### Abstract

#### Low cost precise DTM on a wide area

The paper describes the realization of a DTM on an area having extension of approximately 100.000 hectares. The model has been obtained from the interpolation of approximately 131.000 geodetic heights inside of 180 tablets of the Regional Technical Cartographic of the Emilia Romagna, to the nominal scale 1:5000. In order to improve its accuracy, approximately 1.550 benchmarks have been surveyed. The survey has been executed with VRS GPS technique. On the base of the benchmark geodetic heights a calibration of DTM heights has been executed, obtaining a new DTM. The new DTM has been verified and it has denounced differences in height less to the 30 cm. In the article we describe also the realization costs.

### Autori

MARCO GATTI  
MARCO.GATTI@UNIFE.IT

ALESSIO CASETTO  
ALESSIO.CASETTO@GATTIEG.IT

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA

**Tutta la geomatica alla portata di un click**

[www.rivistageomedia.it](http://www.rivistageomedia.it)