

**CONVENZIONE ARPAT-IFAC PER LO SVILUPPO DI UN SISTEMA INTEGRATO DI VALUTAZIONE PREVENTIVA DELL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO AMBIENTALE A BASSISSIMA FREQUENZA**

**IL MODELLO NUMERICO DEL TERRENO UTILIZZATO IN AMBITO PLEIA-CERT**

*Daniele Andreuccetti, Nicola Zoppetti (IFAC-CNR)  
Camillo Berti, Maria Luisa Diana (ARPAT-SIRA)*

Specifiche del DTM versione 1.0 dell'8 febbraio 2006 preparate nel giugno 2006

## **1. Introduzione**

Il **modello numerico del terreno** (nel seguito DTM, dall'inglese *Digital Terrain Model*) è uno strumento fondamentale in molte applicazioni basate sulla gestione informatizzata del territorio, poiché permette di integrare la cartografia numerica con una rappresentazione dell'orografia, aggiungendo così la coordinata altimetrica alla descrizione georeferenziata dei luoghi.

La sua disponibilità è fondamentale anche per le applicazioni sviluppate in seno alla Convenzione ARPAT-IFAC e relative al Catasto degli Elettrodotti della Regione Toscana (CERT) ed al programma PLEIA (*Power Line Electromagnetic Impact Assessment*) per la valutazione del campo magnetico disperso nell'ambiente. Questo programma, infatti, ha il suo punto di forza proprio nell'essere basato su una modellazione tridimensionale tanto delle sorgenti quanto del territorio.

Il DTM che si è recentemente reso disponibile a questo fine è il frutto di una semplice codifica, realizzata presso l'IFAC, di un modello messo a punto presso il SIRA. Quest'ultimo rappresenta l'intero territorio regionale come una giacitura di mattonelle quadrate contigue, di 10 metri di lato, ciascuna caratterizzata da un unico valore di quota (s.l.m.), assunto pertanto costante su tutta l'estensione della mattonella stessa.

La particolare codifica sviluppata all'IFAC, descritta in questo documento, ha avuto lo scopo di ottimizzare il DTM dal punto di vista sia della compattezza, sia dell'efficienza di utilizzo. Con queste ottimizzazioni, da una parte si minimizzano l'occupazione di spazio disco da parte del file che ospita il DTM (per il quale si utilizza l'estensione ".dtm") ed il tempo di trasmissione dello stesso attraverso la rete, dall'altra si massimizza la rapidità con cui le applicazioni possono consultare il modello per ricavare le quote di punti di coordinate note. La codifica permette di rappresentare non solo l'intera Regione Toscana, ma anche una sua qualsiasi porzione rettangolare.

## **2. Aspetti generali**

Questo documento descrive la codifica utilizzata per i DTM impiegati in ambito PLEIA-CERT, con riferimento al modello numerico dell'orografia dell'intera Regione Toscana messo a punto presso il SIRA, o a sue parti. La codifica in questione si applica infatti alla rappresentazione dell'orografia di una qualsiasi porzione rettangolare del territorio della Toscana, con le seguenti caratteristiche e limitazioni:

- la porzione di territorio considerata deve essere necessariamente rettangolare;
- deve avere i lati allineati con le direzioni nord-sud e est-ovest;
- le lunghezze dei lati devono essere multipli di 10 metri;
- la porzione minima rappresentabile è pertanto un quadrato di 10 metri di lato;
- la porzione massima rappresentabile è il rettangolo che comprende l'intero territorio regionale.

La necessità di sviluppare una codifica specifica ha avuto origine dalle seguenti due esigenze.

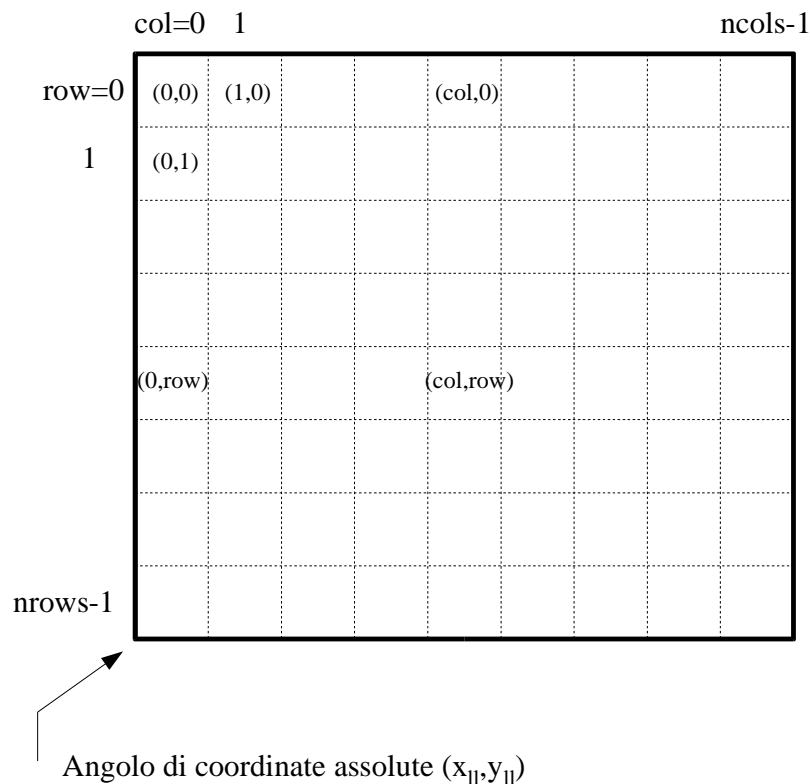
1. Si voleva disporre di un formato in cui fosse possibile accedere in modo diretto, veloce ed efficiente, alla quota di un qualsiasi punto identificato dalle proprie coordinate XY. A questo

fine, si è optato per un formato binario puro, senza alcuna sovrastruttura se non una brevissima intestazione.

2. Si voleva disporre di una rappresentazione il più possibile compatta, anche nell'ottica di minimizzare i tempi di trasferimento via rete. Inoltre, dovendo il file del DTM dell'intera regione essere ospitato su un server Linux, era necessario contenerne la dimensione al di sotto dei 2 GB (dimensione massima di un singolo file nelle versioni Linux installate presso IFAC e SIRA). Ciò è stato ottenuto adottando una codice di tre soli byte per rappresentare la quota di ciascuna mattonella.

Come si è detto, la codifica si basa su una discretizzazione del territorio in mattonelle quadrate di 10 metri di lato, assunte a quota costante.

La Figura 1 mostra la conformazione di ciascuna porzione rettangolare, suddivisa in "nrows" righe di 10 metri di altezza ed in "ncols" colonne di 10 metri di larghezza. Le mattonelle quadrate che ne originano hanno quindi 10 metri di lato e sono numerate con due indici progressivi, a partire da quella situata nell'angolo NW; il primo indice (*col*) numera le colonne procedendo verso est, il secondo indice (*row*) numera le righe procedendo verso sud. Entrambi gli indici partono da 0.



**Figura 1**

### 3. Struttura del file DTM

Il file DTM che contiene la rappresentazione numerica della porzione di territorio corrispondente ad un rettangolo come definito in Figura 1 ha un formato binario ed è costituito da due parti: una **intestazione** ed un **corpo**.

L'*intestazione* si compone di 40 byte e comprende i 10 campi elencati in Tabella 1.

Il *corpo* si compone di (ncols\*nrows\*3) byte ed è costituito da una successione ininterrotta di triplette di byte, ciascuna delle quali si applica ad una mattonella e ne codifica la quota (supposta costante sulla mattonella stessa) nel modo sotto indicato. L'ordinamento è quello corrispondente all'usuale modalità di lettura di un testo: il ciclo esterno procede per righe dall'alto (nord) verso il basso (sud) e, per ciascuna riga, il ciclo interno va da sinistra (ovest) verso destra (est).

NOME	FORMATO	TIPO	SIGNIFICATO
ver	1 byte	byte	numero di versione
rev	1 byte	byte	numero di revisione
data	10 byte	stringa	Data della versione / revisione (gg/mm/aaaa)
ncols	4 byte, LSB-first	unsigned int	numero di colonne
nrows	4 byte, LSB-first	unsigned int	numero di righe
xll	4 byte, LSB-first	unsigned int	coordinata X (lower-)left in centimetri
yll	4 byte, LSB-first	unsigned int	coordinata Y lower(-left) in centimetri
cellsize	4 byte, LSB-first	unsigned int	Lato della cella espresso in centimetri
zoffset	4 byte, LSB-first	unsigned int	offset delle quote (>0) espresso in centimetri
nodata	4 byte, LSB-first	unsigned int	valore utilizzato per codificare, nel corpo del file, la quota dei punti posti fuori dal confine regionale

**Tabella 1**

#### 4. La rappresentazione della quota

Come si è detto, per motivi di compattezza si è scelto di codificare ciascun valore di quota con una codice a 3 byte. Più esattamente, i valori codificati sono rappresentati in memoria con variabili intere “unsigned int” (4 byte), col byte più significativo (MSB) posto a zero. Sul disco vengono invece trascritti e rilette solo i 3 byte meno significativi di queste variabili, nell’ordine LSB-first.

Come è facile rendersi conto, con questa convenzione è possibile rappresentare i valori interi compresi tra 0 e 16.777.215; d’altra parte, nel modello sorgente in formato TXT preparato dal SIRA, le quote sono in metri ed espresse da numeri a virgola mobile. Il valore minimo presente nel file sorgente è “-9999” (valore convenzionalmente utilizzato per marcare i punti posti fuori dalla regione); il valore minimo di quota effettiva è attorno a -10 metri; il valore massimo è di poco superiore ai 2000 metri (nota: il monte Prado, nelle Apuane, con i suoi 2054 metri è il monte più alto di tutta la Toscana; il monte Cimone, 2165 metri, è il più alto di tutta la catena dell’Appennino tosco-emiliano, ma si trova in Emilia).

La relazione matematica utilizzata per rappresentare una quota  $q$  (in metri) con un numero intero  $b$  compreso nell’intervallo tra 0 e 16.777.215, conservando una risoluzione nominale di 1 cm (con arrotondamento dei decimali trascurati) è la seguente:

$$b = (\text{int})[100 \cdot (q+9999)+0.5]$$

Come si vede, nella codifica binaria il valore 0 viene a rappresentare i punti non quotati (perché fuori dai confini regionali), mentre le quote tra -10 metri e 2100 metri sono rappresentate da numeri interi compresi tra 998.900 e 1.209.900. Da un punto di vista intrinseco, la codifica è adatta a rappresentare quote s.l.m. comprese tra -9998,99 e +157.773,15 metri.

#### 5. Il recupero della quota

La relazione che permette di recuperare il valore  $q'$  di una quota (in metri), partendo dal valore intero  $b$  (a 3 byte) utilizzato dalla codifica sopra descritta può ovviamente essere ricavata dalla precedente; si trova:

$$q' = \frac{b-999900}{100}$$

fermo restando che il valore  $b = 0$  indica punti fuori dalla Toscana. In generale potrà risultare  $q \neq q'$ , ma la differenza sarà sempre inferiore a 5 mm. La Tabella 2 propone alcuni esempi di codifica e recupero del dato.

Quota originale $q$ [m]	Codifica $b$		Quota recuperata $q'$ [m]
	Base 10	Base 16	
-9999	0	00.00.00	-9999,00
	1	00.00.01	-9998,99
-10	998.900	0F.3D.F4	-10,00
-1,721	999.728	0F.41.31	-1,72
-1,726	999.727	0F.41.2F	-1,73
0	999.900	0F.41.DC	0,00
523,129	1.052.213	10.0E.35	523,13
910	1.090.900	10.A5.54	910,00
2039,594	1.203.859	12.5E.93	2039,59
2039,597	1.203.860	12.5E.94	2039,60
	16.777.215	FF.FF.FF	157.773,15

**Tabella 2**

## 6. Determinare la quota di un punto di coordinate assegnate

Il problema canonico connesso con l'utilizzo del DTM consiste nel ricavare la quota di un punto di date coordinate (X,Y). Nel caso in questione, il problema si scinde in due passi. Il primo passo consiste nell'individuare gli indici ( $col, row$ ) che identificano la mattonella a cui appartiene il punto dato. Il secondo passo richiede che si consulti il file del DTM per recuperare la quota della mattonella identificata dalla coppia di indici rintracciata.

### 6.1 Rintracciare la mattonella a cui appartiene il punto

Per come sono definiti gli indici che identificano ciascuna mattonella (si veda a questo proposito la Figura 1), si vede subito che la coppia di indici ( $col, row$ ) che identifica la mattonella a cui appartiene il punto di coordinate ( $x, y$ ) è data da:

$$col = \left( \text{int} \right) \left( \frac{x - x_{ll}}{1000} \right)$$

$$row = nrows - 1 - \left( \text{int} \right) \left( \frac{y - y_{ll}}{1000} \right)$$

con l'avvertenza che tutte le coordinate devono essere espresse in centimetri.

### 6.2 Recuperare la quota della mattonella identificata da una coppia di indici

La struttura regolare del DTM in formato binario permette senza difficoltà di identificare la tripletta di byte che rappresenta la quota di una cella di dati indici ( $col, row$ ), codificata come sopra descritto e memorizzata nell'ordine LSB-first; per la posizione iniziale  $p$  della tripletta si trova:

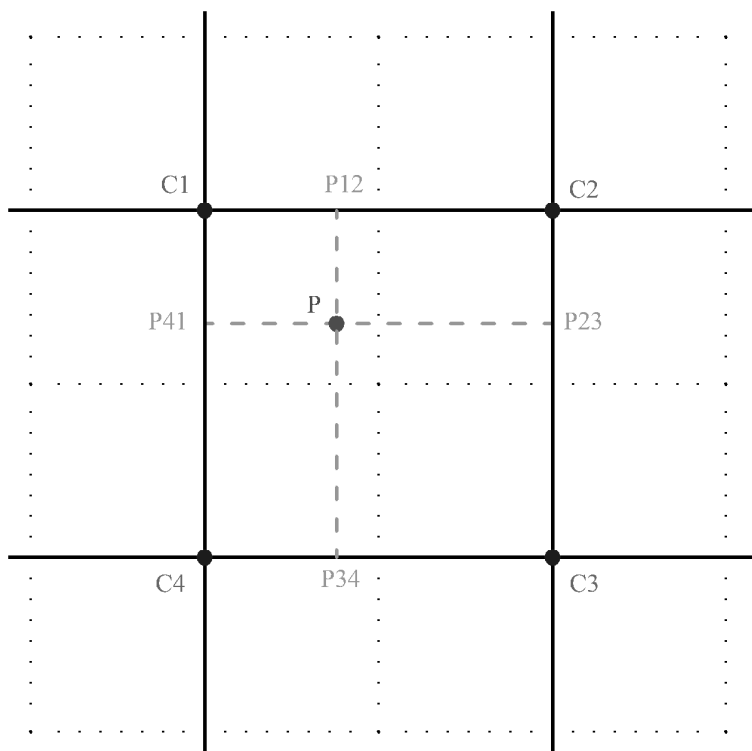
$$p = 40 + 3(row \cdot ncols + col)$$

## 7. Interpolazione

L'approccio sopra descritto porta evidentemente ad attribuire a ciascun punto la quota della mattonella a cui esso appartiene. Sebbene questo sia perfettamente corretto da un punto di vista formale (soprattutto se si considera che a ciascuna mattonella dovrebbe nominalmente essere stata assegnata la *quota media* del territorio che essa rappresenta), tuttavia risulta non completamente soddisfacente, perché costituisce una rappresentazione non continua della quota stessa come funzione del posto. In altre parole, quando ci si muove lungo una linea continua sulla planimetria

(per esempio una retta, una spezzata, una linea curva qualsiasi, il tracciato di una strada etc.) la quota non varia in modo altrettanto continuo, ma piuttosto a scalini, poiché il suo valore rimane costante all'interno di ogni mattonella, mentre può variare (più o meno bruscamente) al confine tra due mattonelle. Queste discontinuità di quota si riflettono ovviamente sui valori di induzione magnetica calcolati con PLEIA.

Per ovviare a questo inconveniente, si è adottato un algoritmo di interpolazione lineare, descritto nel seguito con riferimento alla Figura 2, per mezzo del quale è possibile esprimere la quota come funzione continua del posto.



**Figura 2**

Dato un generico punto  $P$  di cui si desidera determinare la quota, si identificano le quattro mattonelle del DTM i cui centri  $C_1, C_2, C_3, C_4$  costituiscono i vertici di un quadrato che contiene il punto  $P$ ; a questi centri  $C_i$  si attribuiscono le quote  $q_i$  associate alle rispettive mattonelle, determinate sulla base dell'algoritmo descritto al precedente paragrafo 6. Si proietta poi il punto  $P$  sui quattro lati del quadrato così definito, ottenendo quattro punti: il punto  $P_{12}$  sul lato  $C_1C_2$ , il punto  $P_{23}$  sul lato  $C_2C_3$ , il punto  $P_{34}$  sul lato  $C_3C_4$  ed infine il punto  $P_{41}$  sul lato  $C_4C_1$ . La quota di ciascuno di questi quattro nuovi punti può essere determinata come interpolazione lineare tra gli estremi del segmento a cui esso appartiene. Successivamente, si determinano due stime  $q_I$  e  $q_{II}$  della quota del punto  $P$ , rispettivamente come interpolazione lineare sul segmento  $P_{12}P_{34}$  e sul segmento  $P_{41}P_{23}$ . Infine, al punto  $P$  viene attribuita come quota la media tra i valori  $q_I$  e  $q_{II}$ .

## 8. Il DTM dell'intera Regione Toscana

Il DTM della Toscana con passo 10x10 metri in formato testo, è stato preparato effettuando il mosaico di più DTM parziali, realizzati dalla Regione Toscana in collaborazione con le Autorità di Bacino, nell'ambito del progetto **Sistema delle Acque**. Per questa operazione si è utilizzato il *toolbox* "Data management/Raster/Mosaic" del software ESRI ArcGIS 9.0.

I DTM di partenza, relativi ai bacini idrografici di pertinenza della Toscana, sono stati costruiti sulla base delle specifiche indicate nel documento "Il Sistema delle Acque Superficiali: Idrografia, bacini, DTM" (versione Ottobre 2002, a cura della Regione Toscana, Dipartimento delle politiche Territoriali e ambientali), al quale si rimanda per ulteriori dettagli. Come dati di base sono state

utilizzate le informazioni altimetriche (curve di livello, punti quotati) e quelle relative all'idrografia (corsi d'acqua, corpi d'acqua, linea di costa) contenute nella **Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000**. Il DTM generale in formato *ESRI Grid* ottenuto dal mosaico, è stato successivamente convertito con strumenti ArcGIS nel formato **ASCII raster file**, la cui struttura è descritta nella guida in linea del software ArcView 3.x, di cui si riporta nel seguito un estratto.

*Nel formato ASCII raster file, ogni documento è costituito da alcune linee di intestazione, seguite da una serie di valori, uno per ciascuna cella del data set.*

*L'intestazione include i dati seguenti:*

- *ncols: numero di colonne nel data set;*
- *nrows: numero di righe nel data set;*
- *xllcorner: coordinata x in metri dell'angolo in basso a sinistra della cella in basso a sinistra;*
- *yllcorner: coordinata y in metri dell'angolo in basso a sinistra della cella in basso a sinistra;*
- *cellsize: dimensione della cella in metri;*
- *nodata\_value: valore assegnato alle celle che hanno valore sconosciuto (campo opzionale, per default = -9999).*

*La prima riga di dati corrisponde alla sommità del data set; in ogni riga i valori sono elencati percorrendo il data set da sinistra verso destra. I valori delle celle devono essere delimitati da spazi; non sono necessari caratteri di delimitazione di fine riga ("carriage return"), in quanto il numero di colonne specificato nell'intestazione determina quando inizia una nuova riga. Naturalmente, il numero dei valori deve essere uguale al numero delle celle del data set, ovvero al numero delle righe moltiplicato per il numero delle colonne.*

Il file TXT così prodotto (denominato "toscana.txt") ha una dimensione di 3.893.101.722 byte, un valore che – come si è detto – pone dei problemi per l'utilizzo in alcune versioni dell'ambiente Linux. Inoltre, la codifica in formato testo con campi di lunghezza variabile, rende estremamente inefficiente l'accesso al valore della quota di un punto di assegnate coordinate. Di qui l'esigenza di sviluppare la codifica binaria a tre byte per punto che non solo produce un file "ad accesso casuale" (cioè nel quale è possibile accedere in modo diretto ed efficiente alla quota di qualsiasi punto di date coordinate), ma consente di ridurre le dimensioni a molto meno della metà.

Il DTM dell'intera Regione Toscana, codificato nel modo sopra descritto, si compone di una intestazione di 40 byte, attualmente strutturata come mostrato in Tabella 3 (ricordare che i dati interi sono memorizzati nell'ordine *LSB first*). A questa segue il corpo costituito da 21.993x24.797 triplette di byte, per complessivi 1.636.081.263 byte. L'intero file (intestazione+corpo) è lungo pertanto 1.636.081.303 byte; ad esso è stato assegnato il nome "Toscana.dtm".

NOME	FORMATO	VALORE	VALORE BASE 16
Ver	1 byte	1	01
Rev	1 byte	0	00
Data	10 byte	"08/02/2006"	30.38.2F.30.32.2F.32.30.30.36
Ncols	4 byte, LSB first	21.993	00.00.55.E9
nrows	4 byte, LSB first	24.797	00.00.60.DD
xll [cm]	4 byte, LSB first	155324723	09.42.11.33
yll [cm]	4 byte, LSB first	467832349	1B.E2.8E.1D
cellsize [cm]	4 byte, LSB first	1000	00.00.03.E8
zoffset [cm]	4 byte, LSB first	999900	00.0F.41.DC
nodata	4 byte, LSB first	0	00.00.00.00

**Tabella 3**