

Cartografia digitale e modelli di dati spaziali

modelli vettoriali e modelli raster

fabio.lucchesi_01.2005

La descrizione cartografica

- La rappresentazione cartografica è una forma di descrizione del territorio fondata sulla restituzione delle relazioni spaziali di elementi geografici**

Cartografia numerica

- **Nella cartografia tradizionale l'elemento base è un disegno che contiene in forma implicita le coordinate dei punti che definiscono gli oggetti rappresentati (tramite il reticolato del sistema di riferimento)**
- **Nella cartografia numerica l'elemento base è un insieme di coordinate che contiene in forma implicita la sua visualizzazione analogica (in una mappa cartacea o su un display) sotto forma di disegno**

fabio.lucchesi_01.2005

Database geografico

- **Le possibilità di analisi spaziale connesse alle tecnologie dell'informazione consentono di mettere in relazione tra loro gli oggetti e i fenomeni contenuti in un database geografico attraverso le tecniche di elaborazione dell'informazione digitale**
- **Per essere rappresentati in un database gli elementi geografici devono essere definiti attraverso un modello spaziale**

fabio.lucchesi_01.2005

Tipi di elementi geografici

- Gli elementi geografici possono essere distinti secondo due tipi fondamentali**
 - **Oggetti**
 - **Fenomeni**

- Gli oggetti sono entità fisiche (come edifici, strade, acquedotti ...) oppure entità giuridiche (come stati, comuni, proprietà ...) che hanno un limite individuabile e dunque possono essere considerate come entità discrete**

- I fenomeni sono eventi che si manifestano in modo continuo (come l'altitudine, la temperatura, la pendenza del suolo, ...); i fenomeni esistono ovunque (ogni punto del suolo ha una altitudine o una pendenza) e non hanno limiti individuabili**

fabio.lucchesi_01.2005

Modelli spaziali

- In un sistema informativo un database geografico può essere codificato attraverso due modelli**
 - **modello vettoriale (punti, linee, poligoni)**
 - **modello a griglia o raster (insieme di celle uniformi sistematicamente organizzate)**

- **Di norma, i modelli vettoriali sono più appropriati per la rappresentazione e l'analisi di oggetti discreti**
- **mentre l'uso di modelli raster è preferibile per l'analisi e la rappresentazione di fenomeni continui**
 - Tuttavia, nella pratica**
 - **è possibile che sia necessario o utile lavorare con modelli raster per descrivere oggetti discreti e viceversa utilizzare modelli vettoriali per descrivere fenomeni continui**
 - **accade molto spesso che sia necessario utilizzare in uno stesso progetto di descrizione entrambi i modelli**

fabio.lucchesi_01.2005

i modelli vettoriali

fabio.lucchesi_01.2005

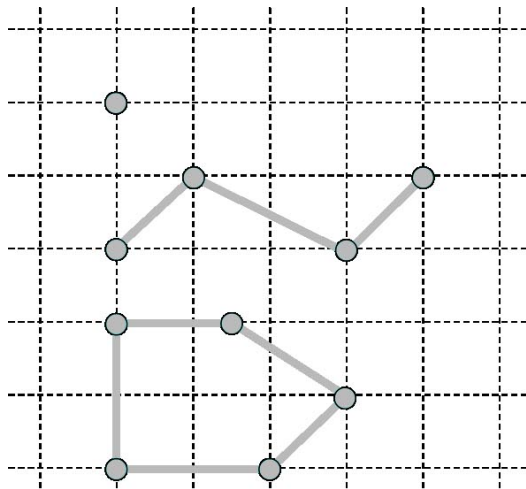
Modelli vettoriali

- Nei modelli di dati vettoriali punti, linee e poligoni rappresentano le unità spaziali minime che descrivono gli oggetti geografici**

- I modelli vettoriali sono in genere impiegati per la codifica di rilievi topografici, fotogrammetrici o GPS (Global Positioning System)**
 - **Si consideri che una stessa entità geografica può essere rappresentata in un modello vettoriale con diverse unità spaziali a seconda degli scopi della rappresentazione o della scala di osservazione**
 - una città può essere rappresentata come un punto (o più) in un database geografico che descrive una rete ferroviaria (ogni punto rappresenta una stazione)**
 - una città può rappresentata come un poligono in un database geografico che descrive i diversi usi del suolo**
 - ...

La georeferenziazione nei modelli vettoriali

- Nei modelli vettoriali la corrispondenza tra oggetti disposti sulla superficie del terreno e oggetti registrati nel database (georeferenziazione) si realizza attraverso sistemi di coordinate X, Y (ed, eventualmente, Z)
- Punti, linee e poligoni sono descritti attraverso le proprie coordinate rispetto a un sistema di riferimento
 - coordinata X easting
 - coordinata Y northing



$X, Y = \text{punto}$

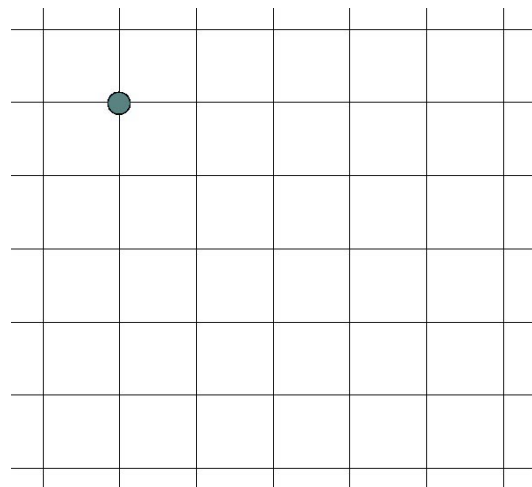
$X_1, Y_1 ; X_2, Y_2 ; X_n, Y_n = \text{linea}$

$X_1, Y_1 ; X_2, Y_2 ; X_n, Y_n ; X_1, Y_1 = \text{poligono}$

fabio.lucchesi_01.2005

Punti

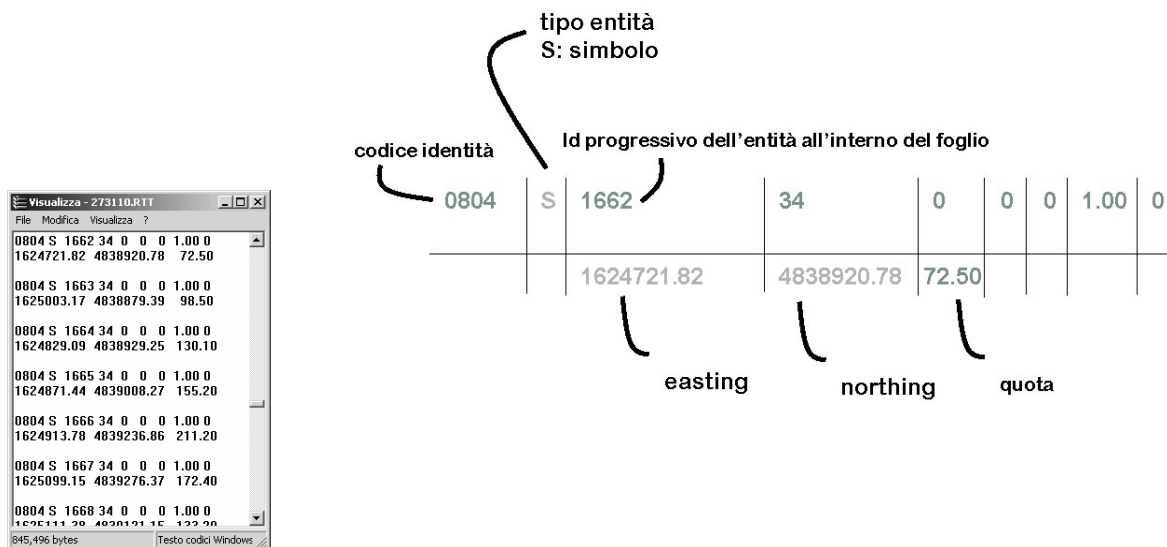
- I punti non hanno dimensione, ma solo posizione



fabio.lucchesi_01.2005

Codifica digitale di un punto (nel formato RT)

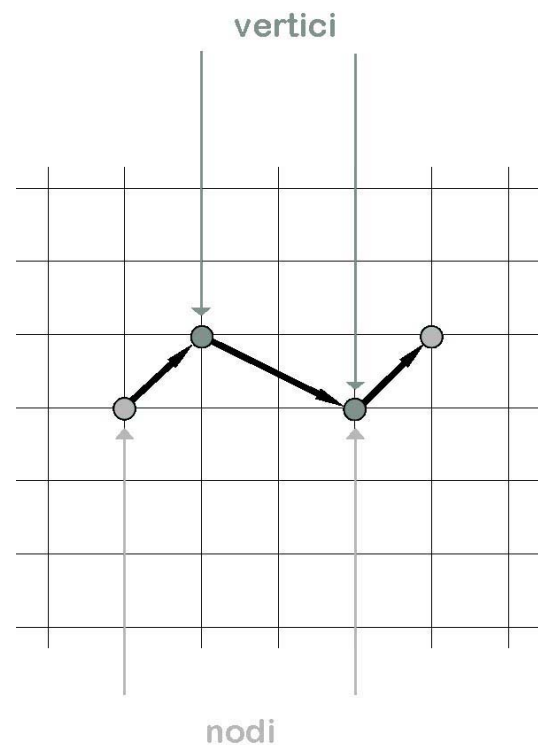
- I punti sono rappresentati da coppie (o triplette) di coordinate



fabio.lucchesi_01.2005

Linee

- Le linee sono definite da punti connessi da segmenti
 - i punti si dicono nodi all'inizio e alla fine della linea e vertici nei punti intermedi
 - la linea che congiunge due nodi si definisce arco



fabio.lucchesi_01.2005

Codifica digitale di una linea (nel formato RT)

- Una linea è rappresentata come sequenza aperta di nodi e vertici

File	Modifica	Visualizza ?
0303	L	4 5
U N	1622298.43	4836000.00 1.99
D N	1622297.95	4835996.02 1.99
D N	1622284.66	4835885.45 2.00
D N	1622253.21	4835708.50 2.02
0303	L	2 6
U N	1622315.84	4835884.07 1.99
D N	1622295.95	4835713.94 2.01
0303	L	2 7
U N	1622344.53	4835851.21 1.99
D N	1622328.50	4835709.12 2.00
0303	L	2 8
U N	1622388.45	4835879.24 1.99
D N	1622369.17	4835705.05 2.01
0706	L	2 3

Visibilità

D: si arriva a questo punto tracciando un segmento visibile

U: il segmento che arriva a questo punto deve essere invisibile

Bordo

B: l'oggetto è sul bordo del foglio

N: l'oggetto non è sul bordo del foglio

tipo entità
L: linea aperta

numero punti che definiscono l'entità

codice identità

Id progressivo dell'entità all'interno del foglio

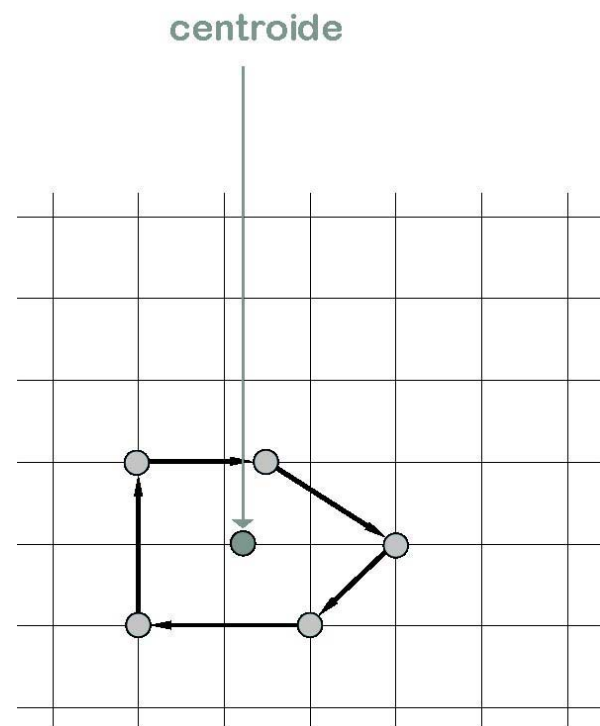
0303	L	4	34		
U	N	1622298.43	4836000.00	1.99	
D	N	1622297.95	4835439.10	1.99	
D	N	1622284.66	4835885.45	2.00	
D	N	1622253.21	4835708.50	2.02	

easting northing quota

fabio.lucchesi_01.2005

I poligoni in una struttura semplice

- I poligoni sono linee chiuse su se stesse: il punto di partenza e di fine di un poligono è lo stesso nodo
- Dunque in un modello semplice i poligoni sono definiti da una linea chiusa, a sua volta definita da punti connessi da segmenti
 - Il punto che può essere considerato il centro del poligono si definisce centroide



fabio.lucchesi_01.2005

Codifica digitale di un poligono (nel formato RT)

- Una poligono è rappresentato come sequenza chiusa di nodi e vertici

```

Visualizza - 273110.RTE
File Modifica Visualizza ?
0201 A 5 1
UN 1623039.11 4835435.56 10.61
DN 1623059.39 4835439.10 10.61
DN 1623061.23 4835428.54 10.61
DN 1623040.96 4835425.00 9.54
DN 1623039.11 4835435.56 10.61
0201 A 5 2
UN 1623078.72 4835449.23 15.02
DN 1623101.72 4835454.14 9.54
DN 1623104.27 4835442.19 8.64
DN 1623081.27 4835437.28 14.70
DN 1623078.72 4835449.23 15.02
0304 A 33 1
15892.88
UN 1622784.81 4835056.89 2.86
DN 1622785.79 4835069.35 2.86
DN 1622780.84 4835131.20 2.86
5,216,667 bytes
    
```

codice identità	tipo entità	numero punti che definiscono l'entità	Id progressivo dell'entità all'interno del foglio		
0201	A	5	678		
U	N		1623039.11	4835435.56	10.61
D	N		1623059.39	4835439.10	10.61
D	N		1623061.23	4835428.54	10.61
D	N		1623040.96	4835425.00	9.54
D	N		1623039.11	4835435.56	10.61

Bordo
 B: l'oggetto è sul bordo del foglio
 N: l'oggetto non è sul bordo del foglio

easting northing quota

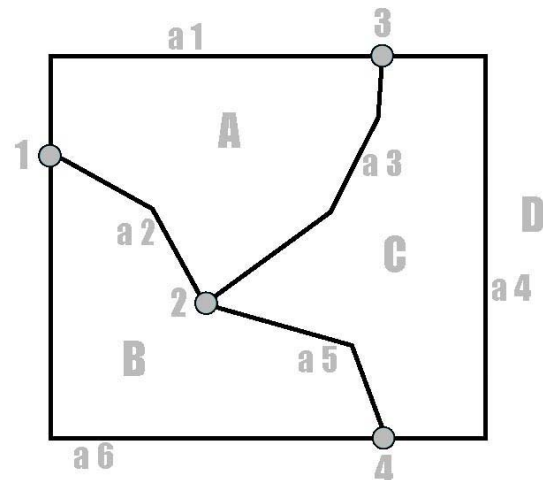
Visibilità

- D: si arriva a questo punto tracciando un segmento visibile
- U: il segmento che arriva a questo punto deve essere invisibile

fabio.lucchesi_01.2005

I poligoni nel modello arco/nodo

- Nel caso sia necessario considerare l'informazione relativa alle proprietà di relazione tra elementi è necessario utilizzare un modello più complesso
 - Si consideri che l'informazione sulle proprietà di connessione, adiacenza e inclusione si definisce informazione topologica
- Nel modello arco/nodo i poligoni sono definiti attraverso nodi, archi e regole di relazione reciproca



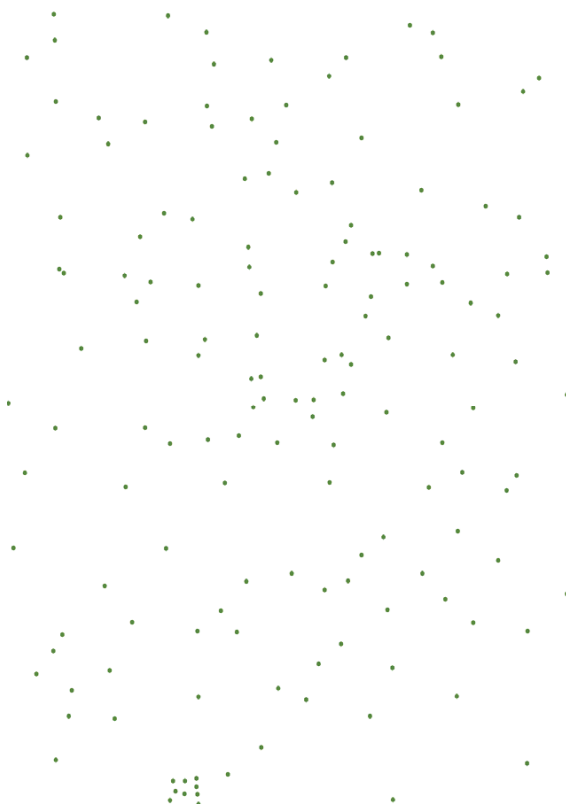
topologia poligoni		topologia nodi		topologia archi	
poligoni	archi	nodi	archi	archi	poligoni sinistro e destro
A	a1, a2, a3	1	a1, a2, a6	a1	A D
B	a2, a5, a6	2	a2, a3, a5	a2	A B
C	a3, a4, a5	3	a1, a3, a4	a3	A C
D	a1, a4, a6	4	a4, a5, a6	a4	C D
				a5	B C
				a6	B D

fabio.lucchesi_01.2005

Restituzione analogica di oggetti vettoriali

- Grazie alla codifica della localizzazione spaziale rispetto a un sistema di riferimento le entità vettoriali raccolte in un database possono essere restituite in forma analogica in una mappa

- Punti



fabio.lucchesi_01.2005

Restituzione analogica di oggetti vettoriali

- Grazie alla codifica della localizzazione spaziale rispetto a un sistema di riferimento le entità vettoriali raccolte in un database possono essere restituite in forma analogica in una mappa

- Punti e linee



fabio.lucchesi_01.2005

Restituzione analogica di oggetti vettoriali

- Grazie alla codifica della localizzazione spaziale rispetto a un sistema di riferimento le entità vettoriali raccolte in un database possono essere restituite in forma analogica in una mappa
 - Punti, linee e poligoni



fabio.lucchesi_01.2005

i modelli raster

fabio.lucchesi_01.2005

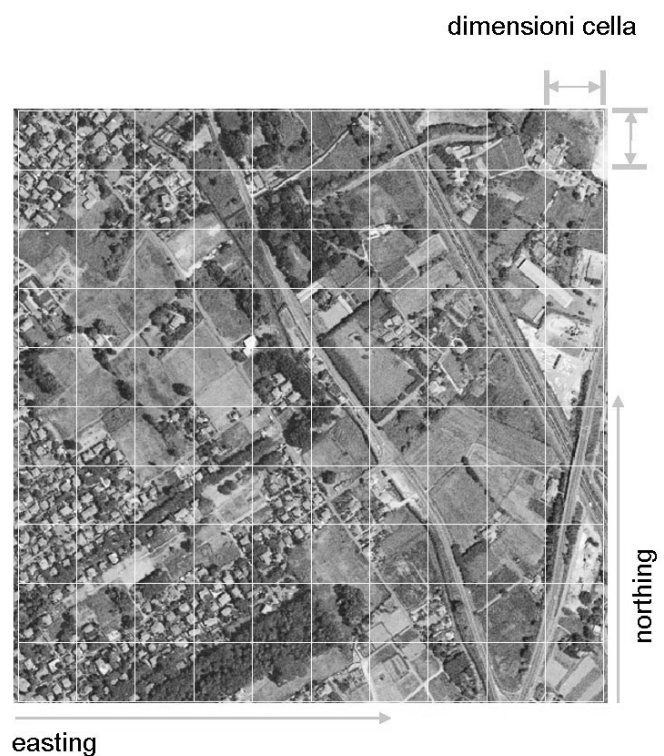
Modelli raster

- Un modello di dati raster (o a griglia) presuppone la ripartizione della superficie terrestre in una **griglia ortogonale orientata**
- Nei modelli di dati raster le **celle** della griglia (dette anche **pixels**) rappresentano le unità spaziali minime
- I modelli raster sono in genere impiegati per la codifica di **fotografie satellitari, scansioni di materiale cartografico cartaceo, interpolazione di rilevazioni topografiche parziali**

fabio.lucchesi_01.2005

Unità spaziali raster

- Il **numero di celle** (espresso come prodotto di numero di righe x numero di colonne) costituisce la **dimensione della griglia**
- Le **dimensioni della cella** costituiscono la **risoluzione della griglia**
 - La **dimensione della cella** influenza sia l'aspetto della restituzione analogica della griglia sia i risultati dell'analisi spaziale. **Dimensioni della cella troppo grandi** causano approssimazione; **dimensioni troppo piccole** causano lentezza nella elaborazione e necessitano di una grande quantità di spazio per l'archiviazione

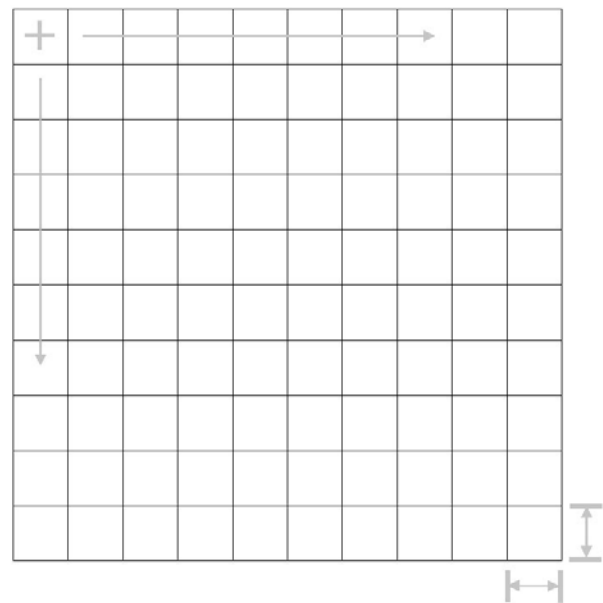


fabio.lucchesi_01.2005

La georeferenziazione nei modelli raster

- In un modello raster le celle sono organizzate in una **matrice di righe e colonne** in cui l'orientamento della griglia corrisponde a quello di un sistema di riferimento geografico
- La georeferenziazione di una griglia raster si completa con due tipi di informazioni
 - **dimensioni della cella** (in unità di mappa)
 - **referimento alle coordinate** di almeno una cella di origine
 - Si consideri che la georeferenziazione di ogni cella è implicita nella sua **posizione nella matrice di righe e colonne**

coordinate di origine X, Y



dimensione della cella

fabio.lucchesi_01.2005

Informazione nei modelli raster

- In un modello raster a ciascuna cella è associato un **valore che esprime la qualità o l'intensità** di un fenomeno rilevato nella porzione di superficie terrestre corrispondente alla estensione della cella (altitudine, pendenza, uso del suolo, ecc.)
- In genere, ad ogni cella è associato un **valore numerico**; i valori assegnati possono descrivere
 - l'entità quantitativa del fenomeno rappresentato (quota, percentuale di pendenza, ecc.)
 - il codice di corrispondenza a una classe qualitativa (1 = seminativo; 2 = bosco; ecc.)

4	4	1	9	9	0	3	3	3	3
4	1	1	1	9	9	9	3	3	3
1	1	5	5	5	5	9	2	3	3
1	1	1	5	5	2	2	2	2	3
1	1	4	5	8	8	2	2	2	0
0	4	4	4	8	8	8	2	9	9
0	0	4	5	8	3	3	1	1	1
2	2	5	5	8	3	2	1	1	4
2	2	5	5	2	2	2	4	4	4
6	6	6	2	2	2	2	4	4	4

fabio.lucchesi_01.2005

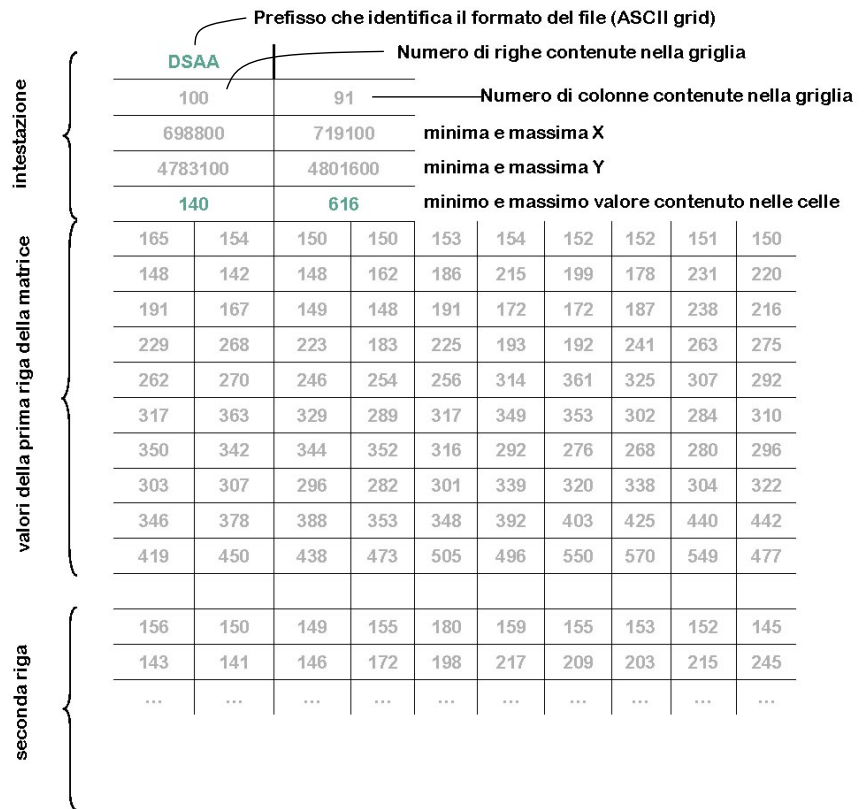
Codifica digitale di una griglia altimetrica (nel formato ASCII grid)

La griglia è descritta da

- Una intestazione (header) che consente la costruzione georeferenziata della matrice
- Una sequenza dei valori che costituiscono il contenuto di ogni singola cella

```

1214 Jul - blocco.nod
File Modifica Formato Visualizza ?
-----
100 91
478190 480160
#DAA 719500 616 1418781003
05.0000000070 113.8902374375 149.6893744654 150.2150903493 113.36020734928
113.40247986786 113.9232000205 113.0078746274 113.902114896 149.52198656864
247.40726787813 141.89893165114 147.14510779171 101.90566054515 196.39544851434
113.14736025140 110.21660707719 178.48492706274 213.2166068876 119.85386412106
101.04417634800 807.064101014 148.381265251 27.11009698116 116.10082 10119
171.15280498319 174.43401726134 187.16568338707 237.51829103184 116.47042203754
178.1181115887 246.4181181189 113.172743898 126.48668911007 174.49449111008
193.20111214411 110.17911694719 140.16160447878 261.21154896918 174.68517294558
162.07013749612 101.21609464811 145.1224121739 116.89495227819 116.13940740641
113.04813924849 161.21121272611 114.89004496986 106.8801837443 116.44898911162
116.52700838400 110.18019297817 110.025047611 110.19009107413 116.00194310167
149.1840081805 111.10704476388 101.8887010107 104.4496197614 109.87150134111
110.18401116068 141.01011770242 144.470161084 111.9914267108 111.90517611016
116.8948049171 176.08027010297 107.7013160437 178.96897139601 116.411781068
110.1841991312 110.008848486 118.0449510204 101.49021184508 110.05166312162
110.8991441896 111.88118109944 118.14401710988 101.778139718 112.99161391124
141.42796664378 117.892820381 187.7818941844 111.44618771016 147.74046492086
162.10480010801 401.2047902118 417.0166773084 440.20111440716 441.04000109416
419.0271210996 449.49718921846 436.1947782821 472.81841203012 104.79648872071
496.5807817624 110.02406111134 169.810121762 146.13986629609 477.0000013613
115.7638340041 146.71048061117 149.28128101172 111.48651147111 180.09741938959
110.9780460730 114.72115132019 115.08219087770 111.70711336183 144.80115660441
147.4071781894 141.02811819786 147.80706110044 171.11111041113 110.18910691018
117.11790014161 108.8004030796 109.17911101011 111.41077101014 114.44000107082
106.0342127393 100.115110207212 101.1191011611 111.19278148776 146.11242186451
117.098411111 101.1190471199 111.1181781711 111.410080874 149.084171142
116.1110021011 171.0674246471 119.1609646798 119.610773012 118.0117618414
117.1741217628 101.014101117 149.1188749694 119.087410102 119.011821011
127.6434496678 171.0724211111 114.41861010951 114.11070709277 116.10411188168
109.0106101111 110.110101111 149.1101010101 111.110111111 114.110111111
111.4937170077 171.0366888117 117.11881061896 100.11891117617 100.47431964417
112.49011920722 110.700090719 114.0180010101 116.1101010101 111.4600010101
111.90801770019 116.16817110109 111.011117647 119.1180271440 110.81010101010
114.4641841111 117.1184111112 116.0101010101 116.46310101010 111.10704846667
117.897857101 111.417048464 110.1101010101 110.1101010101 111.10704846667
119.1870986711 141.42110411087 149.17261391188 114.41011101010 110.66202411919
111.1101010101 111.4101010101 110.1101010101 110.1101010101 111.10704846667
180.420104117 411.00412797008 432.10415021114 432.08116143117 419.11246881192
417.8463217466 421.26521693216 441.11003408669 478.98621627411 483.49947219717
    
```



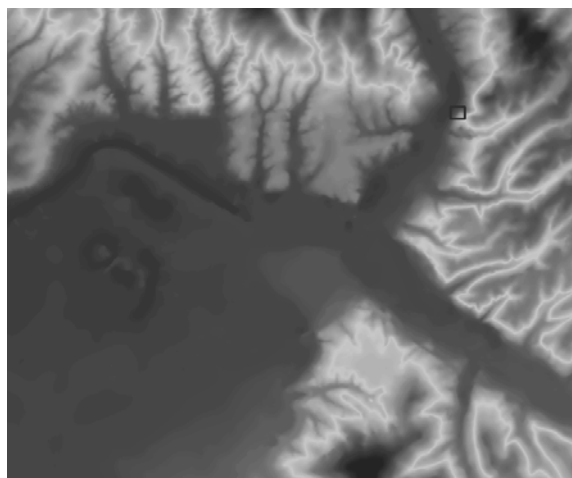
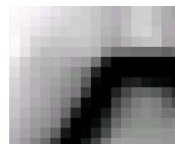
fabio.lucchesi_01.2005

Restituzione analogica di griglie

altimetria



clivometria

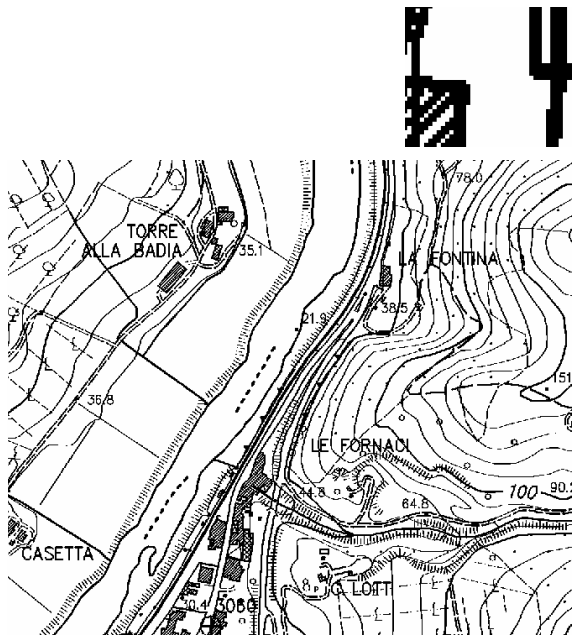


fabio.lucchesi_01.2005

Casi particolari di mappe raster: trascrizioni raster di cartografia analogica

- Le trascrizioni raster di cartografia analogica (ottenute spesso per scansione di cartografia tradizionale) rappresentano un caso particolare in cui i valori contenuti nelle celle corrispondono al colore presente nel documento originale

- A seconda della quantità di informazione utilizzata per registrare il tono di colore possono distinguersi
 - immagini a 1 bit al tratto (bitmap): bianco/nero
 - immagini a 8 bit
 - scala di grigio (grayscale): 256 toni dal bianco al nero
 - colore indicizzato (indexed color): 256 colori
 - immagini a 24 bit a colori (RGB, 8 bit per canale): 16.7 milioni di colori



Intervallo dei valori contenuti nelle celle: da 0 a 1

Corrispondenza cromatica con i valori delle celle

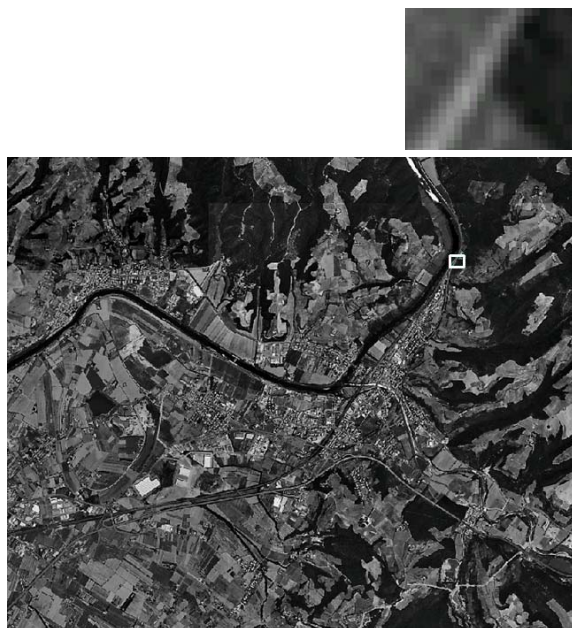


fabio.lucchesi_01.2005

Casi particolari di mappe raster: immagini fotografiche

- Le immagini fotografiche rappresentano un caso particolare in cui i valori contenuti nelle celle corrispondono all'intensità della energia elettromagnetica relativa allo spettro visibile riflessa dalla superficie terrestre

- A seconda della quantità di informazione utilizzata per registrare il tono di colore possono distinguersi
 - immagini a 8 bit in scala di grigio (grayscale): 256 toni dal bianco al nero
 - immagini a 24 bit a colori (RGB, 8 bit per canale): 16.7 milioni di colori



Intervallo dei valori contenuti nelle celle: da 0 a 255

Corrispondenza cromatica con i valori delle celle



fabio.lucchesi_01.2005

« raster is faster, but vector is corrector »

fabio.lucchesi_01.2005

Modelli raster e modelli vettoriali a confronto

griglie

vantaggi

- semplificano la codifica di fenomeni variabili in modo continuo sulla superficie terrestre
- sono perfettamente compatibili con alcune fonti di informazioni spaziali di "remote sensing" (p.e. le immagini satellitari)
- la struttura dei dati è più semplice
- l'analisi spaziale può essere implementata molto più semplicemente

svantaggi

- è generalmente richiesto uno spazio maggiore per l'archiviazione dei dati
- è impossibile ottenere una rappresentazione accurata (indipendente dalla scala di restituzione e dalla risoluzione della griglia) di fenomeni discreti
- le trasformazioni di proiezione sono più difficili
- è più difficile conservare l'informazione topologica

vettori

vantaggi

- consentono di rappresentare con grande precisione oggetti discreti (edifici, strade, confini di proprietà)
- consentono di ottenere una rappresentazione graficamente accurata indipendentemente dalla scala di restituzione
- sono perfettamente compatibili con le rilevazioni topografiche, fotogrammetriche e GPS
- richiedono generalmente un minore spazio di archiviazione sul disco
- semplificano la conservazione dell'informazione topologica
- modifiche ed aggiornamenti parziali sono possibili più semplicemente

svantaggi

- la struttura dei dati è più complessa
- l'analisi spaziale è molto impegnativa per il calcolo e molto più difficile da implementare
- non molto compatibili con le tecniche di "remote sensing"

fabio.lucchesi_01.2005

Passaggi dall'uno all'altro modello

- Alcuni fenomeni (p.e. l'uso dei suoli) possono essere rappresentati **sia attraverso modelli a griglia, sia attraverso modelli vettoriali**
- L'uso dell'uno o dell'altro modello dipende dagli **scopi** della descrizione
 - Si consideri che il principale fattore distintivo tra diversi ambienti software GIS consiste proprio nella diversa capacità di trattare l'uno o l'altro modello

- Si consideri che sono comunque possibili
 - passaggi da un modello raster a un modello vettoriale: **vettorializzazione**
 - passaggi da un modello vettoriale a un modello raster: **rasterizzazione**
- Si consideri tuttavia che
 - se i processi di **rasterizzazione** sono eseguibili in modo automatico,
 - i processi di **vettorializzazione** non sono quasi mai completamente automatizzabili e possono comportare un grande dispendio di risorse
 - In ogni caso, e in particolare nei passaggi di vettorializzazione, le conversioni possono generare **errori di georeferenziazione e generalizzazioni in misura** che dipendono dal livello di accuratezza scelto e dalla risoluzione della griglia raster