

**Paolo Mogorovich**

# **Sistemi Informativi Territoriali**

**Appunti dalle lezioni**

## **Il modello raster**

**Cod.301 - Vers.E41**

- 1 - Modellazione raster dello spazio**
- 2 - Anatomia del pixel**
- 3 - Raster e Vector**
- 4 - Il Raster come layer**

## 1 - Modellazione Raster dello Spazio

Esiste una profonda differenza concettuale tra la rappresentazione di un oggetto tramite un punto (p.e. un pozzo o un traliccio a scale adeguate) e un altro tipo di entità puntuale quale può essere, ad esempio, la quota del terreno misurata in un certo punto. Nel primo caso il punto è la rappresentazione geometrica di un oggetto avente una sua completezza, nel secondo caso abbiamo una grandezza che si estende su tutto lo spazio (p.e. la quota del terreno) e che viene misurata in un insieme finito di punti; queste grandezze sono dette “campi” e i valori misurati nei vari punti sono detti “campioni”.

Nel primo caso possiamo parlare di Punto-oggetto, nel secondo di Punto-misura. Nel caso di un Punto-oggetto, esso indica la presenza di un'entità e all'intorno di essa, se non vi sono altri punti, non esistono entità dello stesso tipo. Nel caso invece del Punto-misura, la presenza di una primitiva indica il valore di una grandezza che è definita anche nell'intorno del punto stesso, anche se non vi sono altri Punti-misura. La mancanza di altri Punti-misura è dovuta a incompletezza dell'informazione, ma, dato una qualunque coppia di coordinate, sarebbe possibile definire un nuovo Punto-misura calcolando o meglio misurando la grandezza in quel punto.

Oltre ai valori di quota del terreno, sono casi interessanti di Punti-misura le misure di piovosità, o di temperatura, o anemometriche raccolte in una serie di stazioni meteorologiche, ma che ovviamente si riferiscono a grandezze definite su tutto lo spazio; oppure le misure di temperatura e salinità dell'acqua del mare raccolte da navi oceanografiche, anch'esse conoscenza parziale e “per campioni” di grandezze definite su un'area molto vasta.

Quando una grandezza è definita su tutto lo spazio essa può essere rappresentata in modo analitico (cioè tramite un'equazione) oppure tramite valori definiti in una serie di punti, oppure ancora sfruttando linee o aree. Nell'esempio tipico della quota del terreno può essere rappresentata tramite punti quotati, o tramite linee isovalore (curve di livello o isopse) o tramite aree che definiscono regioni con quota compresa tra intervalli prefissati. Molto spesso si adottano contemporaneamente più tecniche.

L'utilizzo di punti-misura e linee isovalore per rappresentare grandezze definite su tutto lo spazio ha due ragioni storiche molto interessanti:

- le prime rappresentazioni di campi sono state fatte tramite strumenti grafici tradizionali e un campo non è rappresentabile con carta e penna se non tramite punti-misura e linee isovalore;
- le rappresentazioni tramite punti-misura e linee isovalore hanno il grande vantaggio di poter essere modulate in funzione dell'interesse; punti misura possono essere più densi in aree di interesse e meno densi in altre;
- la rappresentazione tramite linee isovalore permette di apprezzare non solo il valore della grandezza, ma anche grandezze derivate.

I Punti-misura che descrivono una certa grandezza possono essere distribuiti in modo irregolare o regolare, su una griglia: in quest'ultimo caso è abbastanza naturale pensare che, se la griglia è sufficientemente densa e se la grandezza che misuriamo non è troppo variabile localmente, la misura effettuata su un punto possa essere considerata rappresentativa di un intorno piccolo sì, ma abbastanza grande da toccare l'intorno del punto misura vicino. Detto a rovescio, possiamo immaginare di dividere lo spazio piano in modo regolare in piccoli elementi (“picture element” o pixel) e di indicare il valore della grandezza di tutto l'elemento con un unico valore, geometricamente localizzato al centro dell'elemento stesso. L'idea è che se il pixel è abbastanza piccolo rispetto alla variabilità della grandezza, assumiamo che la grandezza sia costante in tutto l'elemento e quindi basti un solo numero a definirla.

L'idea di dividere una parte dello spazio piano o un'immagine o in genere un “obiettivo di analisi” in una serie di elementi regolari (tassellazione) in modo da poter misurare quantità associate ai singoli elementi è abbastanza comune; sono esempi di tassellazione:

- Rasterizzazione di immagini fotografiche
- Rilevamento di immagini da satellite o da aereo tramite scanner
- Immagine televisiva
- Rilevamento per inventari forestali
- Rilevamento sistematico per l'archeologia.

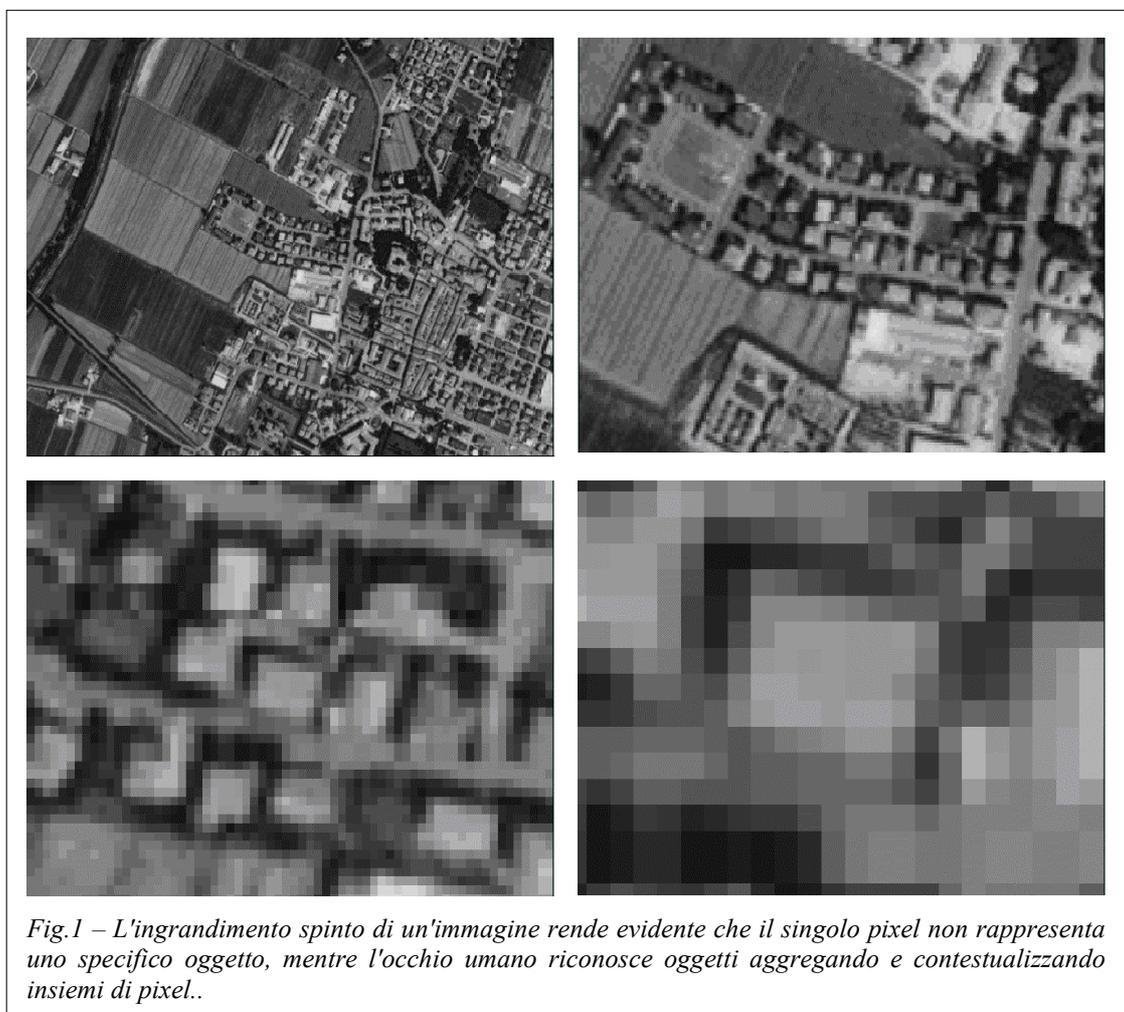
Come si vede la tassellazione non è soltanto un'eredità tecnologica, ma è stata utilizzata anche in settori disciplinari prima dell'avvento delle tecnologie elettroniche e informatiche.

La tassellazione occupa per definizione tutto lo spazio (o almeno quello in cui è definita la grandezza in esame) e ogni pixel ha un valore. La dimensione dei pixel è, salvo rare eccezioni, costante in tutto il dominio, indipendentemente dalla variabilità della grandezza.

Su questo concetto si basa il modello raster utilizzato per i dati territoriali. Lo spazio è considerato diviso in celle quadrate, più raramente rettangolari, appoggiate su una griglia regolare: la cella è l'unità di informazione (grid cell o pixel).

Nella logica dei vettori (punto, linea e area) esiste uno spazio vuoto in cui sono definiti alcuni oggetti; nella logica raster esiste un oggetto che permea tutto lo spazio e che è misurato in un insieme finito di elementi. Punto, linea e area rappresentano oggetti; il pixel non rappresenta un oggetto, ma è il luogo dove una grandezza assume un certo valore.

Quanto detto sembra contrastare con l'esperienza corrente, per cui in un'immagine rasterizzata noi vediamo "oggetti". In realtà gli oggetti che vediamo sono il risultato della nostra capacità elaborativa, e non sono contenuti in modo esplicito nell'immagine. Una sequenza di immagini ottenute da una foto



aerea e ingrandite ogni volta di un fattore 3 mostra chiaramente come un pixel sia il luogo dove una grandezza (in questo caso la riflettanza) assume un certo valore e non si possa in alcun modo associare ad un pixel uno specifico oggetto (fig.1).

## 2 - Anatomia del pixel

La forma dei pixel deve essere tale da permettere di coprire in modo sistematico l'area di interesse. Sarebbe pertanto possibile usare, in linea di principio, pixel triangolari, esagonali, rettangolari e quadrati, ma non cerchi o pentagoni. La forma dei pixel è generalmente quadrata in quanto avere la stessa dimensione sui due assi facilita le operazioni matematiche. Nella maggior parte dei casi la tecnologia di acquisizione ha meccanismi indipendenti sul controllo della risoluzione sui due assi e quindi una tassellazione rettangolare sarebbe possibile. Così è stato ad esempio sui primi satelliti della serie Landsat, dove il pixel aveva dimensioni il cui rapporto era circa  $\frac{3}{4}$ . La tendenza attuale tuttavia è quella di avere pixel quadrati.

Il pixel esagonale è una soluzione teoricamente interessante per la diversa simmetria rispetto al pixel quadrato; quest'ultimo ha due assi di allineamento (orizzontale e verticale) lungo i quali i pixel sono adiacenti lungo un lato e due assi di allineamento (inclinati di  $45^\circ$  rispetto ai precedenti) lungo i quali i pixel si toccano in un punto; quindi un pixel ha 8 vicini di cui 4 distanti "k" e gli altri 4 distanti " $k\sqrt{2}$ ", dove "k" è la dimensione del pixel. Il pixel esagonale ha tre assi di allineamento, con angoli di  $60^\circ$  tra l'uno e l'altro e ogni pixel ha 6 pixel adiacenti da cui è distante " $2a$ " dove "a" è l'apotema dell'esagono. Il pixel esagonale sembra, per certi aspetti, una struttura più pulita.

Quando si associa ad un pixel un valore, si localizza geometricamente la misura in un punto (il centro del pixel) e si sottintende che tale misura si riferisce all'area del pixel, area nella quale la grandezza assume potenzialmente infiniti valori. Qual'è dunque la relazione tra i valori che la grandezza assume nell'areola del pixel e il valore che noi convenzionalmente associamo al punto centrale?

- Un caso comune è che il valore del pixel è il valore medio che la grandezza assume nell'area del pixel; p.es. nell'acquisizione informatizzata di un'immagine un sensore vede una piccola zona di territorio (corrispondente al pixel) e media l'energia che gli viene da tutta la zona;
- Un altro caso comune è quello in cui il valore del pixel è il valore che la grandezza assume nel centro del pixel, così come accade, per esempio, nella creazione di un inventario forestale;
- Un terzo caso è quando il valore del pixel è quello prevalente tra i due o più valori che la grandezza assume nell'area del pixel; accade quando abbiamo a che fare con un fenomeno non continuo, ma che assume valori discreti;
- Un caso un po' più raro è quello in cui il valore del pixel è un valore estremo (il massimo o il minimo) che la grandezza assume nell'area del pixel; nel caso di una carta batimetrica è prudente, per la navigazione subacquea, che il valore associato al pixel indichi il punto più alto nell'area del pixel.

Quanto detto è sostanzialmente irrilevante nel caso in cui la dimensione del pixel sia abbastanza piccola rispetto alla variabilità della funzione, se cioè la variazione della grandezza nell'area del pixel è trascurabile rispetto all'uso che ne vogliamo fare; nel caso invece di pixel relativamente grandi rispetto alla variabilità della funzione (come ad esempio per la carta batimetrica) occorre tener conto di questo fenomeno.

Abbiamo insistito più volte, poco sopra, sul rapporto tra la dimensione del pixel e la variazione della grandezza nell'areola di quel pixel. Supponiamo che la grandezza sia la quota del terreno: è ovvio che per una rappresentazione abbastanza fedele i pixel dovranno essere abbastanza piccoli se descriviamo una zona delle Dolomiti, mentre potranno essere molto grandi se descriviamo un'area pianeggiante. Dire che il pixel deve essere piccolo rispetto alla variabilità della grandezza rappresentata è un'espressione poco quantitativa, ma corretta in termini generali. Se i pixel sono piccoli la conoscenza della grandezza è dettagliata e il numero di pixel è elevato, ma se sono troppo piccoli (sovracampionamento) il loro numero è inutilmente grande. Se i pixel sono grandi la conoscenza della grandezza è poco dettagliata e la quantità di dati da gestire è piccola, ma se sono troppo grandi (sottocampionamento) la conoscenza della grandezza è insufficiente. Nello scegliere la dimensione del pixel durante la costruzione di un dato raster, ci troveremo spesso nella situazione in cui la grandezza da rappresentare ha in certe zone una variabilità notevole e in altre una variabilità bassa. L'ideale sarebbe poter gestire dati raster con griglia di dimensioni variabili, e questo in certi rari casi accade; ma normalmente la dimensione della griglia è fissa e quindi i vincoli saranno dati dalle zone dove la variabilità è alta.

E' importante ricordare che un pixel non rappresenta un oggetto e il valore di radianza rappresenta una misura, non l'attributo di un'entità territoriale. Tuttavia i valori di radianza dipendono dagli oggetti

presenti sul territorio per cui i pixel riportano, in una logica di contesto e non di singolo pixel, informazioni relative a tali oggetti.

### 3 - Raster e vector

La differente concezione dello spazio che sta dietro i due modelli raster e vector si manifesta nel diverso uso tecnico che si fa dei due modelli: il modello vettoriale è adatto a rappresentare oggetti il cui carattere principale è la discontinuità al bordo come ad esempio i limiti amministrativi o le particelle catastali; il modello raster è adatto a descrivere grandezze che variano con continuità come la quota del terreno o la pressione atmosferica. Una indiretta conseguenza di questo è che il mondo raster rappresenta meglio oggetti “naturali” e il mondo vector oggetti creati dall’uomo.

Proponiamo adesso un'esperienza teorica come riflessione sulla diversa natura dei modelli raster e vector e sul loro rapporto con la realtà che descrivono.

Si consideri un'immagine relativa alla ripresa di una zona a cavallo della linea di costa. I valori di radianza indicano, con valori bassi, l'area scura del mare; altri valori abbastanza elevati indicano il forte riflesso di una spiaggia di sabbia e infine valori intermedi rappresentano una zona boscata (p.e. una pineta) a ridosso della spiaggia (fig.2a).

Supponiamo di avere le informazioni necessarie per dire che in questa zona e nelle condizioni in cui è stata acquisita

1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Fig.2b – L'immagine dopo il processo di classificazione.

pixel non rappresenta un oggetto, bensì una zona dello spazio che fa parte di un oggetto. L'operazione eseguita si chiama classificazione e trasforma misure fisiche in simboli.

Poiché ogni pixel identifica una parte di spazio che fa parte di un oggetto, due o più pixel adiacenti con lo stesso valore simbolico saranno tutti riconducibili allo stesso oggetto sul territorio (fig.2c).

Questa operazione, detta accorpamento, permette di definire insiemi di pixel che si differenziano da altri insiemi per il valore del simbolo associato. Se evidenziamo questa

7	66	70	67	26	24	30	30	32	28
7	8	77	77	27	26	25	28	27	27
7	9	75	80	89	24	24	28	28	23
7	10	11	83	90	24	27	27	29	26
8	9	90	82	22	24	30	32	26	28
8	9	86	87	24	26	31	32	29	30
8	8	80	83	75	26	27	29	30	31
8	8	10	77	67	25	27	28	31	29
9	10	11	11	22	24	25	27	29	28
7	7	11	10	10	27	25	25	24	21

Fig.2a – L'immagine fisica inizio dell'esperienza teorica di classificazione

l'immagine i valori di radianza compresi tra 0 e 15 indicano “mare”, quelli compresi tra 20 e 35 “pineta” e infine quelli tra 70 e 100 “spiaggia”. Siamo allora in grado di trasformare la prima matrice in una seconda matrice, in cui ad ogni valore di radianza è stato sostituito un valore simbolico che indica mare (con 1), pineta (con 3) e spiaggia (con 2) (fig.2b).

Nella matrice così ottenuta, è evidente il fatto che un

1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

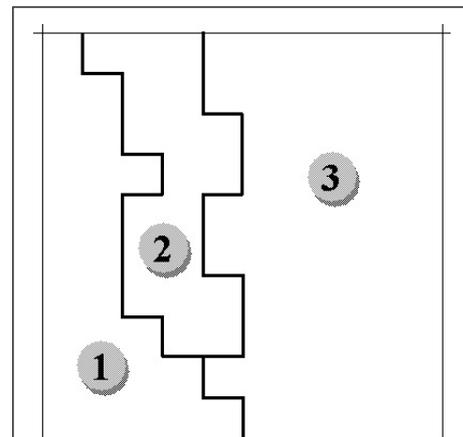
Fig.2c – Aggregazione in zone.

separazione con una linea si ha la ricostruzione geometrica dei bordi dell'oggetto iniziale; tale ricostruzione ovviamente risente della quantizzazione dovuta alla forma e alle dimensioni del pixel.

Finalmente eliminiamo le quadrettature dovute alla presenza dei pixel. Le linee che rimangono descrivono gli oggetti presenti sul territorio (mare, pineta, spiaggia) in termini di aree, cioè di elementi vettoriali (fig. 2d).

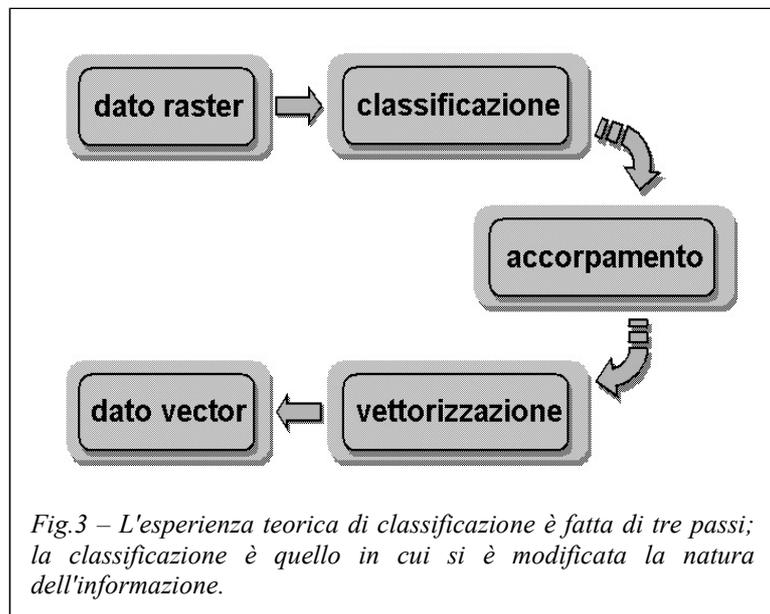
All'inizio dell'esperienza abbiamo un dato che viene descritto correttamente dal modello raster e al termine abbiamo un dato che viene descritto correttamente dal modello vector. Se questo è vero, sulla base di quanto detto prima, nell'elaborazione c'è stato un momento in cui abbiamo cambiato la natura dell'informazione. Il passaggio dal mondo delle misure al mondo degli oggetti ha richiesto i seguenti passi:

- un processo di classificazione;
- un processo di accorpamento, secondo il quale i singoli pixel sono considerati parti di entità geometriche più ampie;
- un processo di vettorizzazione che trasformi i bordi di alcuni pixel in aree.



*Fig.2d – Al termine dell'esperienza teorica di classificazione, l'immagine fisica si è trasformata in un'informazione di tipo vettoriale*

Dei tre passi descritti, il secondo e il terzo sono puramente tecnici, mentre quello che ha cambiato la natura dell'informazione è il primo. Quando diciamo che “i pixel compresi tra 20 e 35 sono classificati pineta” stiamo trasformando una misura (20, o 21, ...) in una classe (“pineta”) che può essere rappresentata con una lettera (p.es. “P”) o con un numero (p.es.16), ma dove è chiaro che “P” o “16” sono simboli e non misure, e hanno un senso soltanto se esiste una legenda



*Fig.3 – L'esperienza teorica di classificazione è fatta di tre passi; la classificazione è quello in cui si è modificata la natura dell'informazione.*

associata. In questo processo di trasformazione di misure in classi (detto appunto “classificazione”) diciamo, e non è un assurdo, che 20 è uguale a 21, a 25, ...); si noti anche che la classificazione in questo processo esula da un mondo strettamente GIS in quanto richiede la competenza di un esperto disciplinare). Dopo la classificazione abbiamo una matrice che non rispetta i principi che abbiamo detto precedentemente (non esprime misure di una grandezza), tanto è vero che con semplici passaggi la trasformiamo in vector (fig.3).

Se nel processo precedente abbiamo visto il caso dove, in una certa fase, avevamo una descrizione in raster di una grandezza per sua natura vettoriale, ricordiamo adesso un caso opposto, quello della quota del terreno, dove è evidente che la rappresentazione più adatta all'interno di un sistema GIS è quella raster; tuttavia sulla carta disegnata non è possibile rappresentare una grandezza per pixel e si ricorre ad una rappresentazione vettoriale tramite isoipse. Questa rappresentazione, oltre ad essere l'unica possibile su una carta disegnata, ha però il vantaggio che l'informazione è più densa là dove la grandezza varia più velocemente (nelle zone impervie) e ha densità bassa dove la grandezza varia più lentamente (pianura). In pratica la rappresentazione è migliore dove serve che sia migliore. Al contrario la rappresentazione raster usa pixel tutti delle stesse dimensioni sia quando sarebbe opportuno averne una maggiore densità (zone impervie) sia quando i pixel gestiti sono inutili (ampie zone pianeggianti).

#### 4 - Il raster come layer

Se abbiamo un'immagine che rappresenta un certo fenomeno e questa deve essere trattata all'interno di un sistema GIS, deve essere risolto il problema di relazionare l'immagine con lo spazio geografico. Come nel mondo vettoriale una primitiva, punto, linea o area che sia, si riferisce allo spazio per il fatto di essere espressa tramite coordinate, così deve accadere per un'immagine. In pratica ciascun pixel dell'immagine deve essere dotato di una coppia di coordinate che ne esprimono la posizione.

Associare a ciascun pixel di un'immagine una coppia di coordinate sarebbe estremamente dispendioso in termini di quantità di dati; esiste però la possibilità di relazionare ogni pixel al piano geografico in modo implicito, facilmente gestibile a livello informatico.

Un'immagine si rappresenta tramite una matrice, dove ciascun elemento è caratterizzato da un indice di riga  $i_r$  e uno di colonna  $i_c$ . In genere l'indice di riga assume il valore 1 per la prima riga in alto e valori successivi muovendosi dall'alto verso il basso; l'indice di colonna assume il valore 1 per la prima colonna a sinistra e valori successivi muovendosi da sinistra verso destra.

L'immagine, a sua volta, descrive una zona di territorio, e possiamo quindi immaginarla come adagiata su uno spazio geografico su cui riportiamo un sistema di riferimento tramite due assi cartesiani (fig.4).

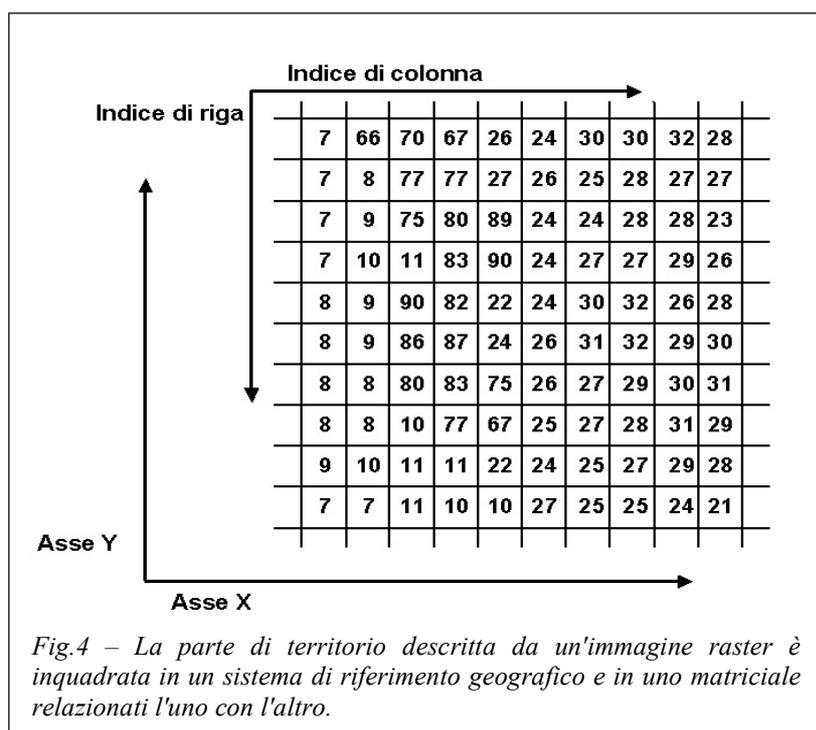


Fig.4 - La parte di territorio descritta da un'immagine raster è inquadrata in un sistema di riferimento geografico e in uno matriciale relazionati l'uno con l'altro.

Supponiamo di conoscere le coordinate geografiche  $(X_0, Y_0)$  del vertice in alto a sinistra dell'immagine; questo punto non coincide (anche se di poco) con il centro del pixel in alto a sinistra, quello di coordinate matriciali (1,1), ma è il suo spigolo in alto a sinistra. Supponiamo ancora che l'immagine sia orientata in modo che le sue righe siano parallele all'asse delle X, e che la dimensione dei pixel, quadrati, sia  $\Delta$ .

In questa ipotesi, le coordinate geografiche del pixel di coordinate matriciali (1,1), cioè le coordinate del suo centro, saranno  $(X_0+\Delta/2, Y_0-\Delta/2)$ , quelle del pixel alla colonna 3 e alla riga 2 saranno  $(X_0+\Delta+\Delta+\Delta/2, Y_0-\Delta-\Delta/2)$ , e così via fino alla formula generale:

$$(X, Y)_{i_r, i_c} = ( X_0+(i_c-1)*\Delta + \Delta/2 , Y_0-(i_r-1)*\Delta - \Delta/2 )$$

Con semplici modifiche la formula riesce ad esprimere la relazione tra coordinate matriciali e coordinate reali nel caso di pixel non quadrati: se il pixel ha forma rettangolare con dimensioni  $\Delta_x$  e  $\Delta_y$  nella formula precedente il valore  $\Delta$  assumerà due valori diversi, nel calcolo della x e della y.

Il caso particolare che abbiamo esaminato prevede parallelismo tra le righe della matrice e l'asse delle ascisse; di conseguenza la  $X$  dipenderà solo dall'indice di colonna e la  $Y$  solo dall'indice di riga. Nel caso generale questo non avviene e la  $X$  dipenderà sia dall'indice di colonna che da quello di riga, e analogamente la  $Y$ . La formula risulterà leggermente più complicata.