

- ▶ **Il modello raster GRID**
- ▶ **Proprietà di un GRID**
- ▶ **Tipologie di GRID**
- ▶ **Confronto raster - vector**

Il modello Raster - Grid

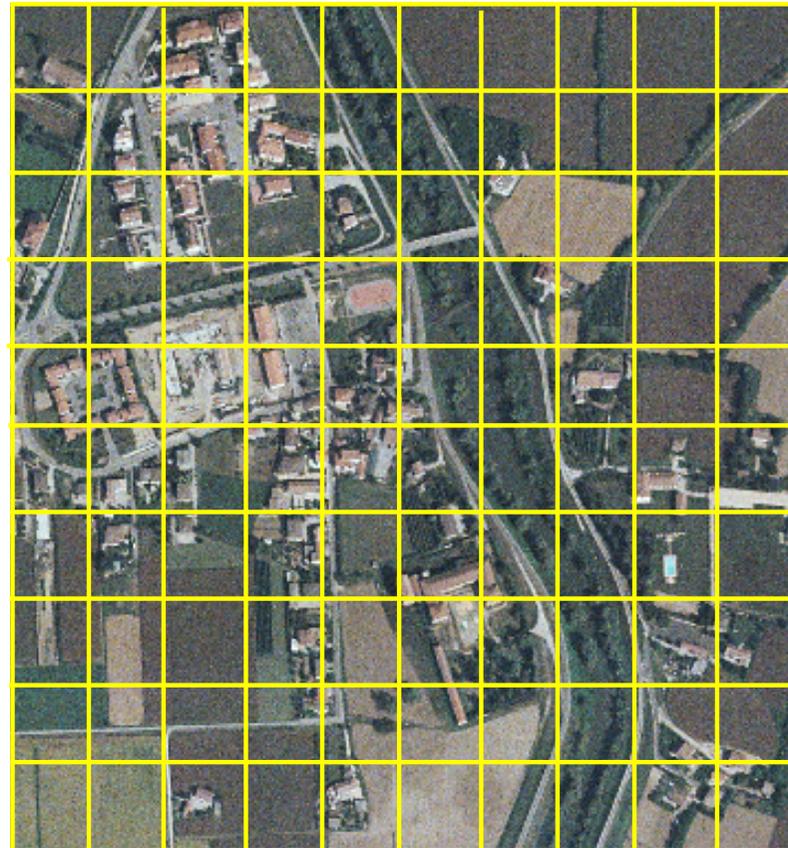
In tale modello l'area geografica di interesse viene rappresentata mediante una suddivisione sistematica dello spazio sottoforma di una **griglia regolare** composta da tante piccole celle di ugual dimensione.

Per ciascuna cella viene inoltre acquisito un campione di informazione.

La cella costituisce **l'unità minima** di informazione.

Anche nella struttura dati GRID sono presenti le 3 componenti tipiche di un GIS:

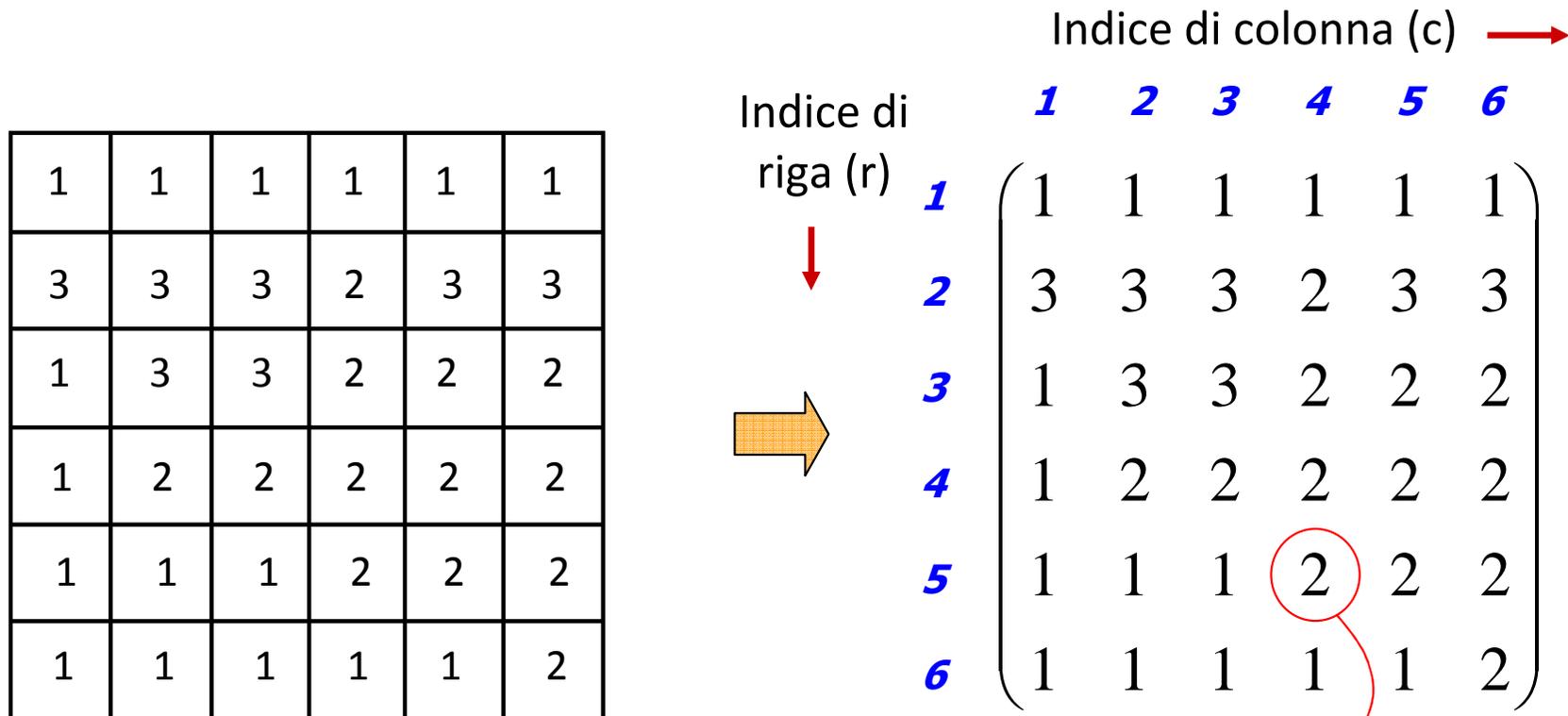
- dati spaziali;
- attributi;
- relazioni topologiche.



Componente spaziale (georeferenziazione)

Ad un raster sono associati **due** diversi sistemi di coordinate.

- 1** Sistema di riferimento interno: il GRID viene memorizzato sottoforma di **matrice** nella quale ogni elemento viene individuato tramite gli indici di riga e di colonna.



elemento di posizione (5,4)

2 **Sistema di riferimento esterno:** consente di associare a ciascuna cella di un GRID una posizione geografica. La georeferenziazione si basa sulla seguente formula:

$$E_p = E_0 + (c-1)_p \cdot d + d/2$$

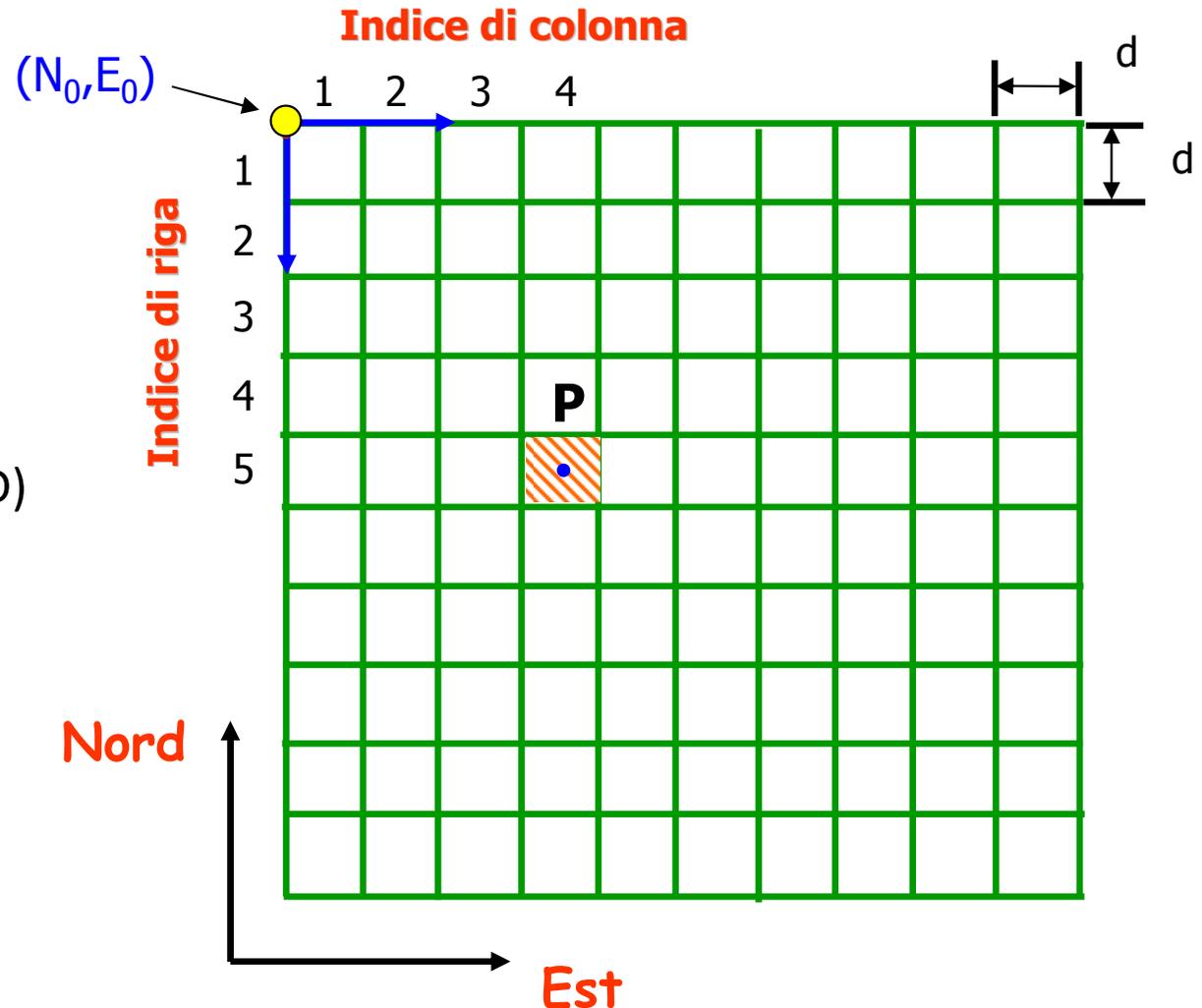
$$N_p = N_0 - (r-1)_p \cdot d - d/2$$

d = dimensione della
cella sul terreno (passo del GRID)

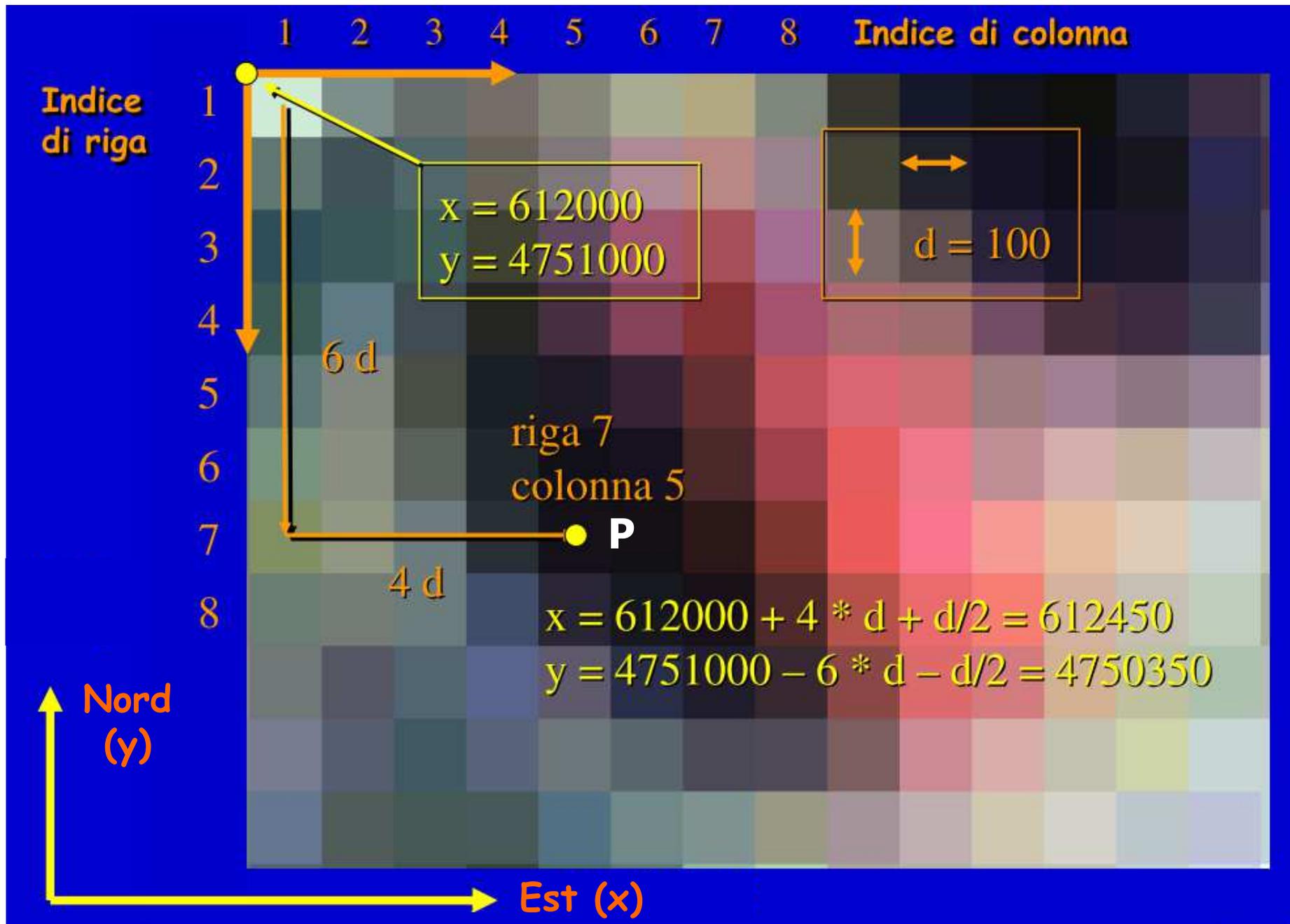
r = indice di riga

c = indice di colonna

E_p, N_p = coordinate cartografiche
o geografiche di P



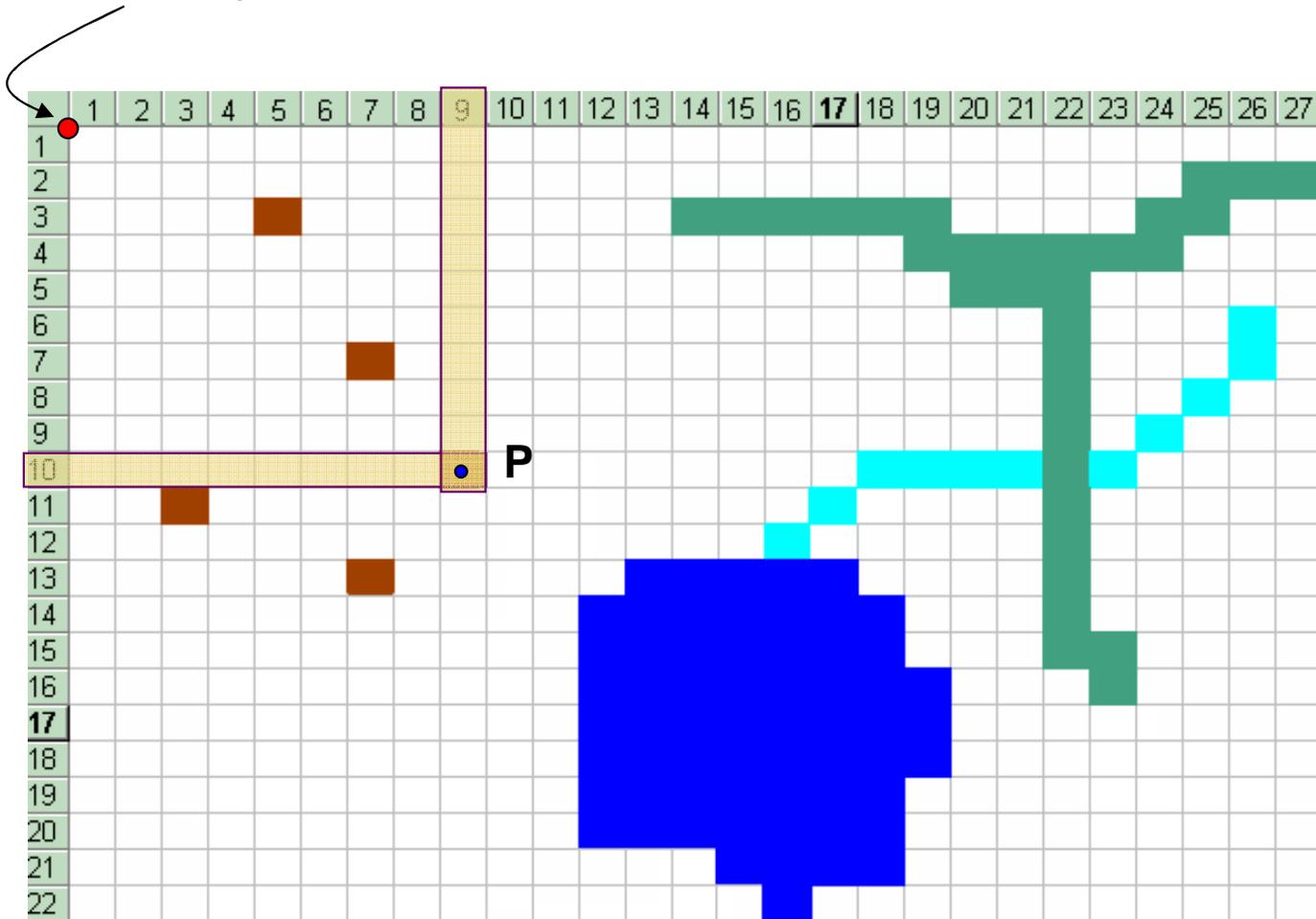
Esempio di georeferenziazione - 1



Esempio di georeferenziazione - 2

$$E_o = 1654000 \text{ m} \quad N_o = 5090999 \text{ m}$$

$$d = 0.60 \text{ m}$$



$$P = (E_p, N_p) \begin{cases} E_p = 1654000 + 8 \cdot 0.60 + 0.30 = 1654005,1 \text{ m} \\ N_p = 5090999 - 9 \cdot 0.60 - 0.30 = 5090993,3 \text{ m} \end{cases}$$

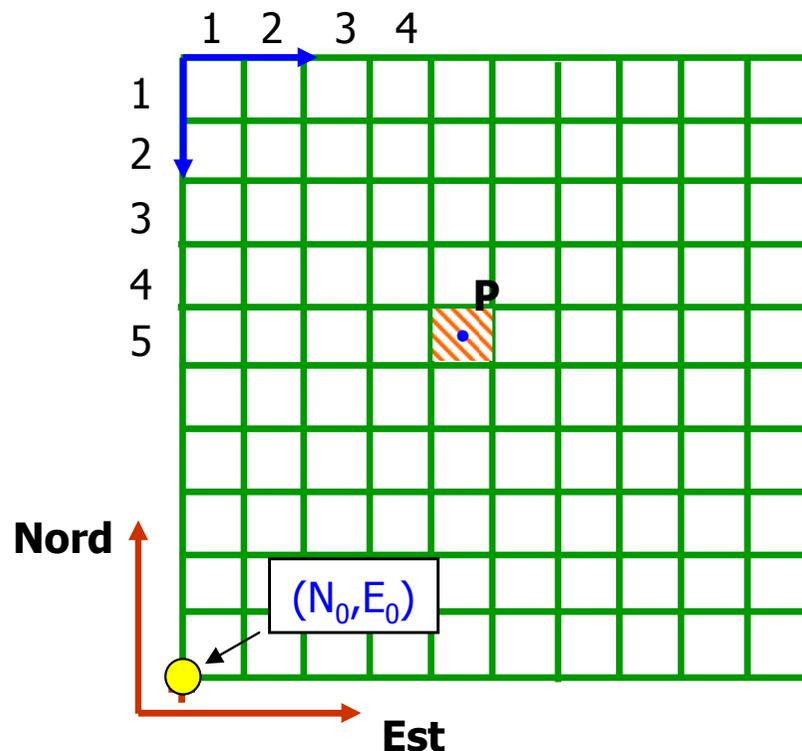
La rappresentazione matriciale di un GRID consente di ricavare la **posizione geografica** di una cella conoscendo solamente **6 parametri**:

- le coordinate cartografiche della cella di origine (N_o, E_o);
- la dimensione a terra della cella lungo l'asse Est e Nord (passo d);
- gli indici di riga e colonna della posizione della cella nella matrice.

Solitamente però la cella origine è posta **in basso a sinistra** nella matrice, anziché in alto a destra.

Come cambia in questo caso la formula di georeferenziazione ?

(Suggerimento: considerare anche il numero N_r di righe della matrice)



Componente spaziale - Proprietà del GRID

1. La cella rappresenta uno spazio (**area**) dove una grandezza di interesse assume un certo valore. Diversamente dal modello vettoriale, una cella descrive una **parte** di un oggetto e non l'oggetto nella sua interezza.
2. Il contenuto della cella esprime in forma **numerica** il valore che la grandezza assume nello spazio geografico corrispondente a quella cella.
3. Ad ogni cella è possibile associare **uno ed un solo** valore.
4. A zone del territorio aventi le stesse caratteristiche di quella data grandezza corrispondono celle di ugual valore.
5. Le operazioni su più GRID possono essere eseguite esclusivamente sulle celle corrispondenti.

Esempio di raster GRID

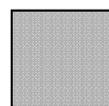
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	4	5	6	7	6
0	0	0	2	2	4	6	7	9	8
0	0	0	1	2	3	5	8	9	8
1	1	1	2	3	4	6	8	9	8
0	0	1	4	5	5	7	8	9	8
1	1	4	5	5	6	7	6	7	7
0	2	5	5	5	4	4	3	4	5

Ad ogni cella è associato un numero che indica quale valore la grandezza considerata assume nell'area del terreno occupata dalla cella stessa.

- Le celle di un raster GRID possono assumere valori **interi** o **decimali**.
- I valori contenuti nelle celle devono essere tutti dello **stesso tipo**.
- Alcune celle possono non avere alcun valore associato (celle **“no data”**): esse non vengono utilizzate dal punto di vista computazionale ma rappresentano comunque una porzione di territorio reale (area).

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

19.5	38.3	41.5	29.2	10.0	0.0
24.5	38.3	32.5	41.5	29.2	
21.6	43.8	21.6	26.6	14.7	10.0
0.0	0.0	29.2	14.0		0.0
		10.0	29.2	21.5	10.0
0.0	0.0	10.0	21.6	29.2	14.0



valore “no data”

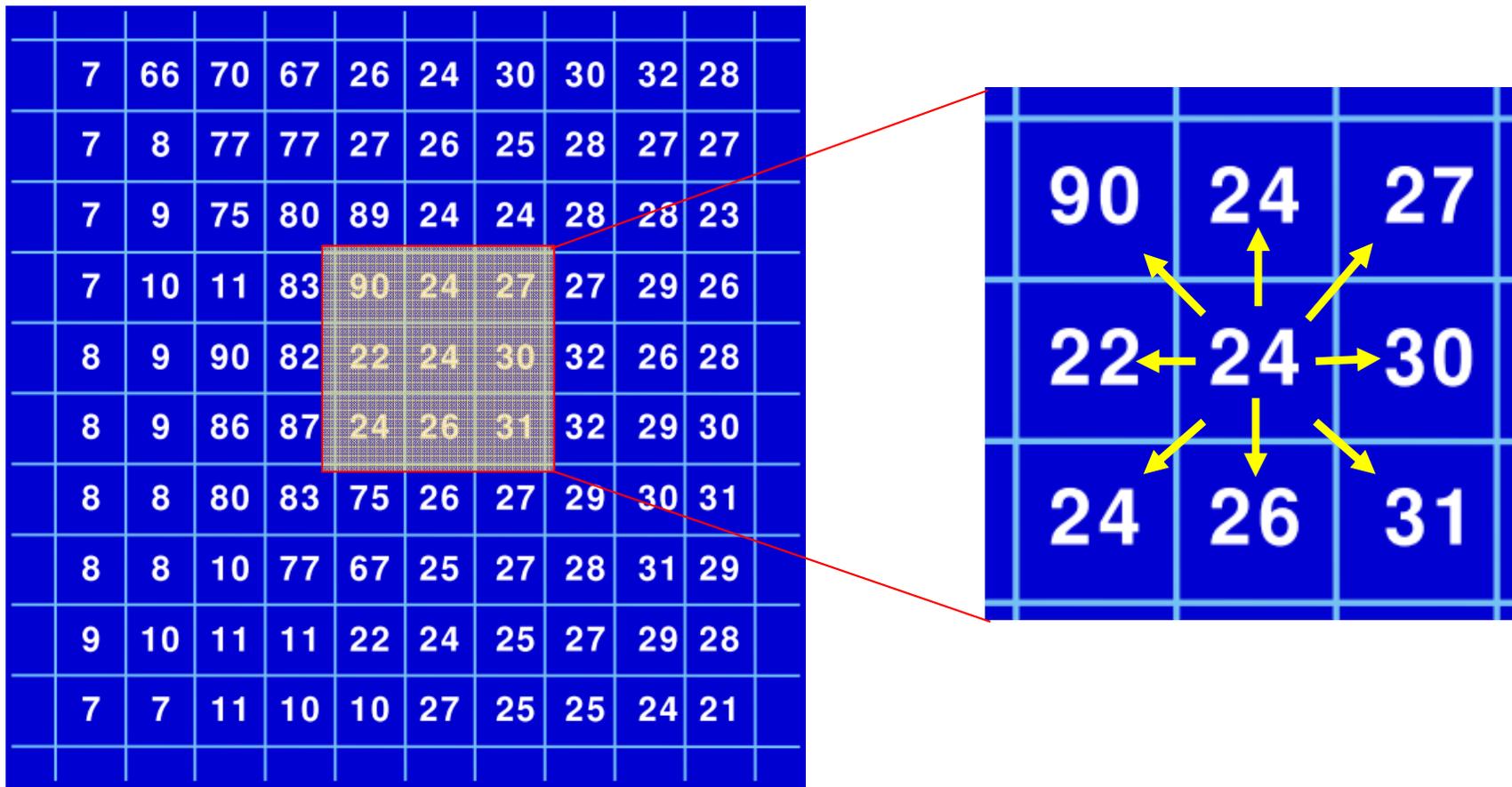
Topologia nel raster GRID

Nel modello raster GRID le relazioni spaziali sono definite in modo **implicito** dalla struttura matriciale del raster stesso e si basano sulla **contiguità** tra le celle.

In particolare, le relazioni spaziali possono essere stabilite solo tra le **8 celle** immediatamente adiacenti.

Il riconoscimento di un oggetto o il suo relazionamento con altri limitrofi è fatta per **aggregazione** di celle di valore uguale o simile.

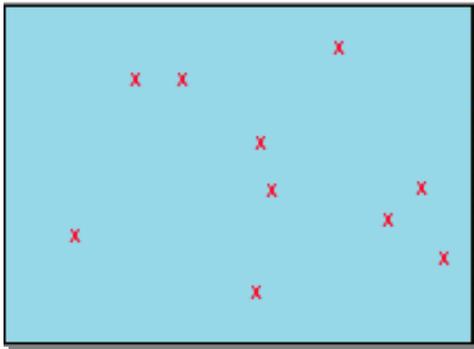
Esempio di relazione spaziale in un raster GRID



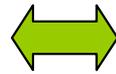
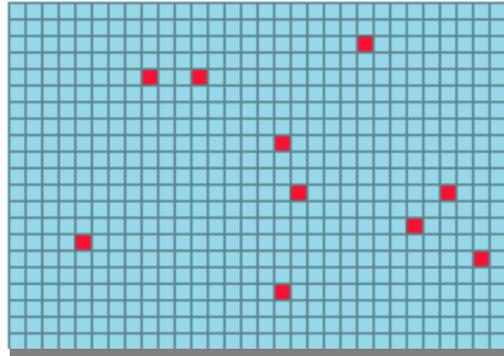
Per ogni cella vengono considerate solamente le 8 celle più vicine:
4 nelle direzioni cardinali e 4 in quelle diagonali.

Rappresentazione delle entità - 1

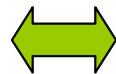
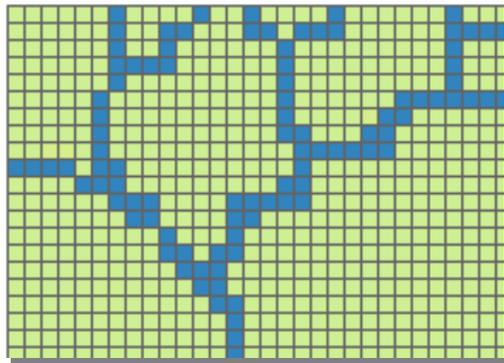
vettoriale



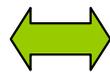
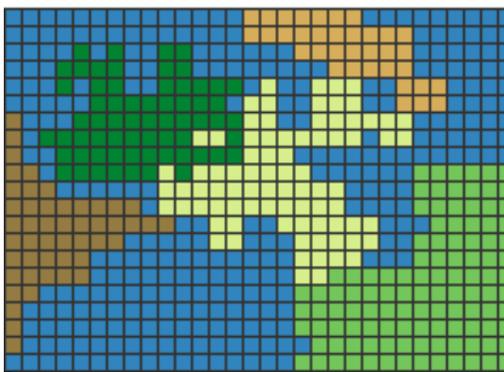
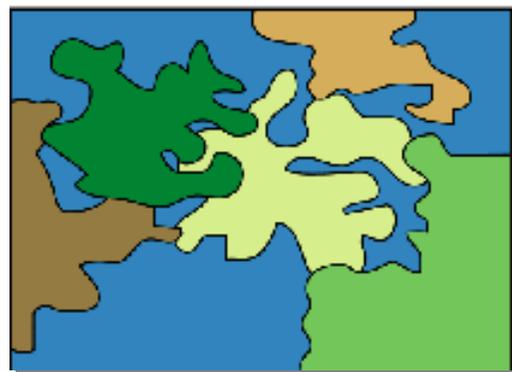
raster



Punti come singole celle



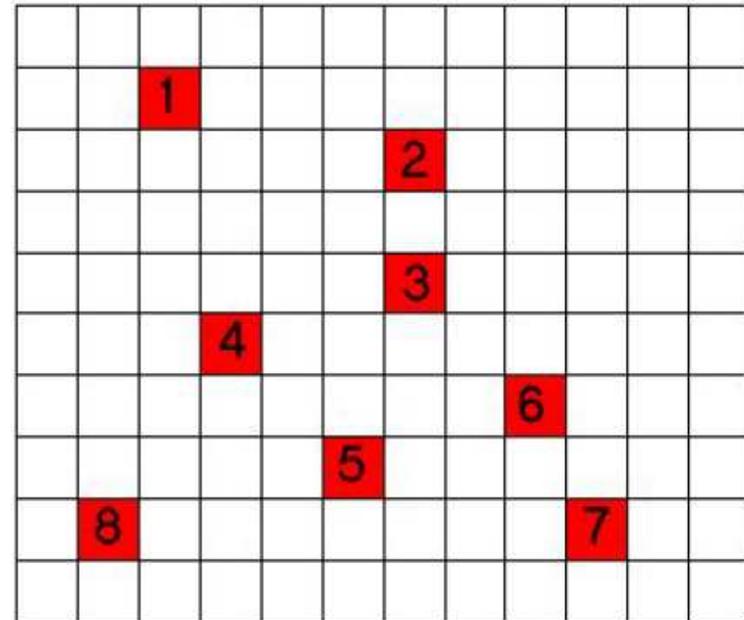
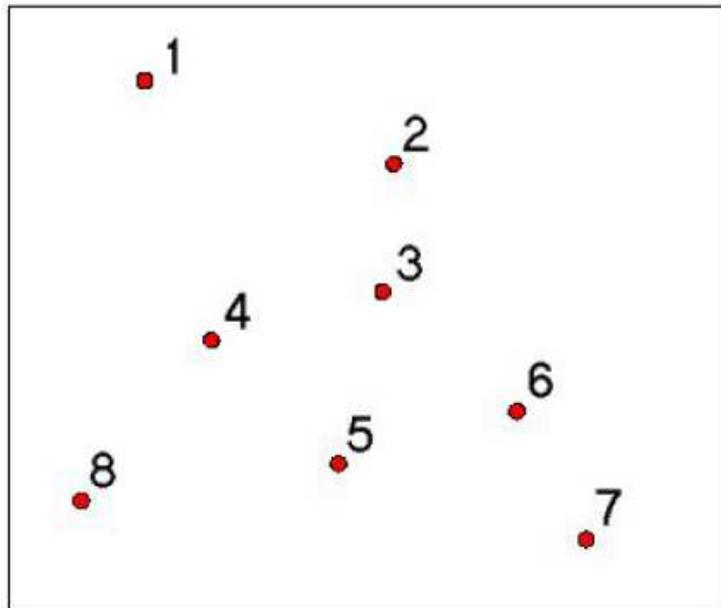
Linee come sequenze di celle



Poligoni come insieme di celle

Rappresentazione delle entità - 2

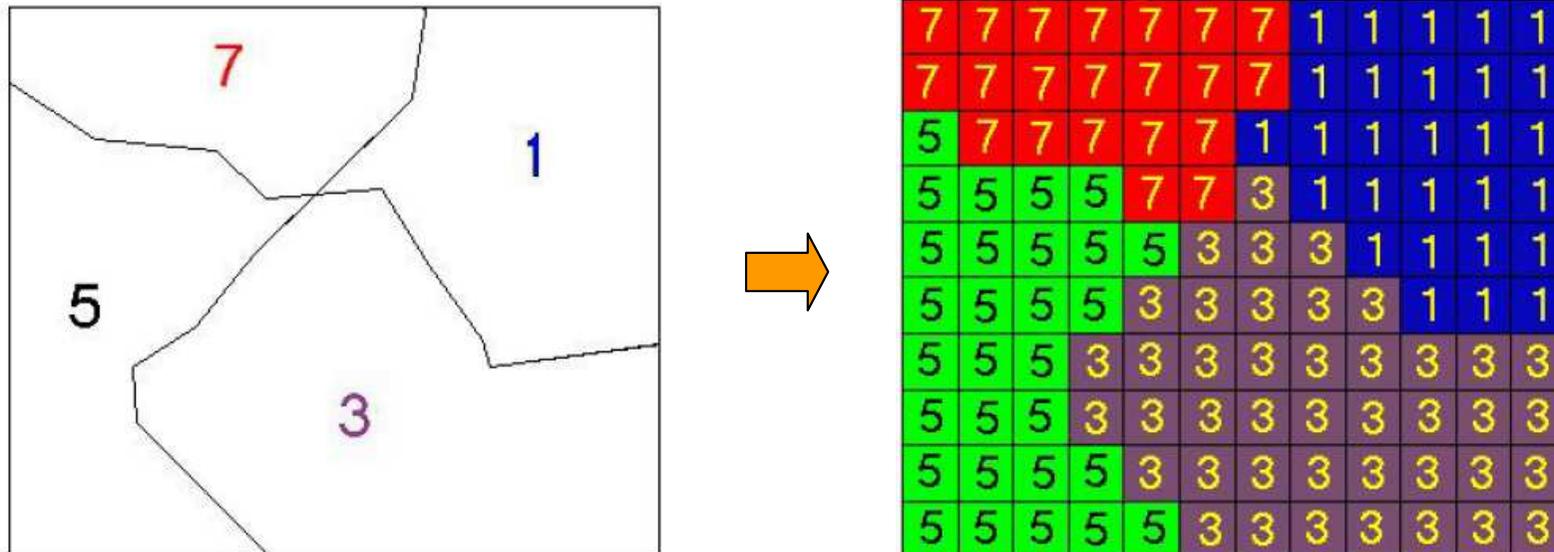
Elementi geografici di tipo **puntuale** (pozzi, edifici, oggetti di arredo urbano, ecc.) vengono “espansi” su singole celle.



Nel modello raster GRID tutto ciò che nel mondo reale ricade all'interno di una cella viene considerato come un'unica entità indivisibile.

Elementi geografici di tipo **poligonale** (bacini, particelle catastali, edifici, ecc.) vengono anch'essi rappresentati da gruppi di celle adiacenti tra loro.

Anche in questo caso l'applicazione delle medesime elaborazioni può portare a risultati molto diversi tra loro.



Tipologie di raster GRID

Le informazioni sul territorio possono essere riportate in un GIS attraverso diverse tipologie di modelli raster GRID.

Ciascuna di esse è caratterizzata da uno specifico contenuto informativo e diverse sono le modalità di gestione/elaborazione del dato raster stesso.

In generale si possono distinguere le seguenti 4 tipologie di GRID:

- 1. Raster fisici**
- 2. Raster classificati**
- 3. Raster immagine**
- 4. Raster cartografici**

1. Raster fisico

Il valore di ogni cella descrive la misura, effettuata in una particella di territorio, di una grandezza definita in genere in modo **continuo** sul territorio stesso.

La misura può riferirsi:

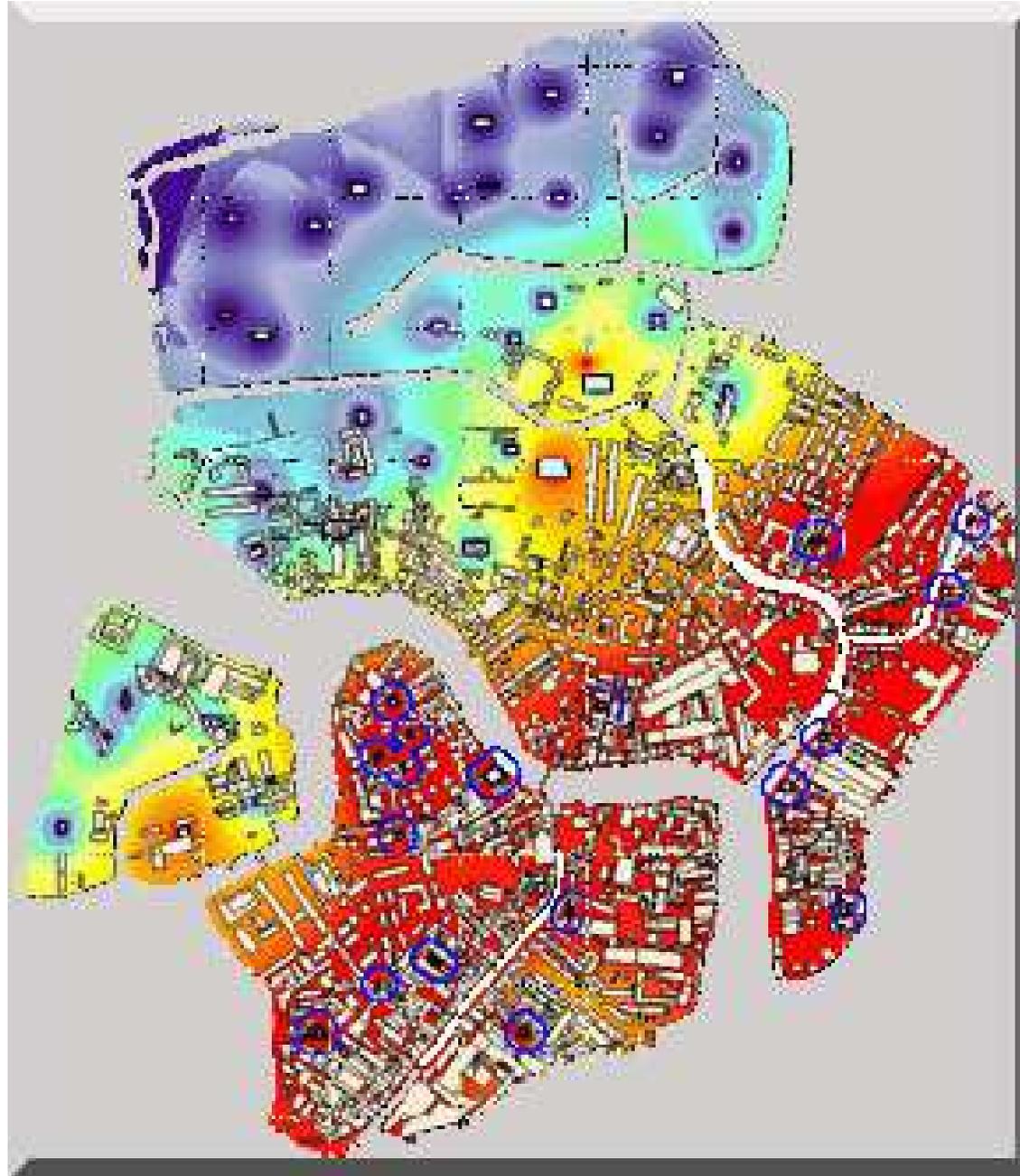
- al valore **medio** che la grandezza assume all'interno dell'area coperta dalla cella;
- ad un valore **estremo** che la grandezza assume all'interno della cella (massimo o minimo);
- al valore che la grandezza presenta nel **centro** della cella.

Un esempio di raster fisici sono quelli ottenuti sulla base di **misure discrete** (campioni) di fenomeni che variano con **continuità** come ad esempio

- la quota del terreno,
- la pendenza (acclività),
- la distribuzione della temperatura,
- la distribuzione del rumore,
- la copertura del suolo,
- la pressione atmosferica,
- ecc.

I valori delle celle sono ottenuti per **interpolazione** dei valori misurati (campioni) della grandezza.

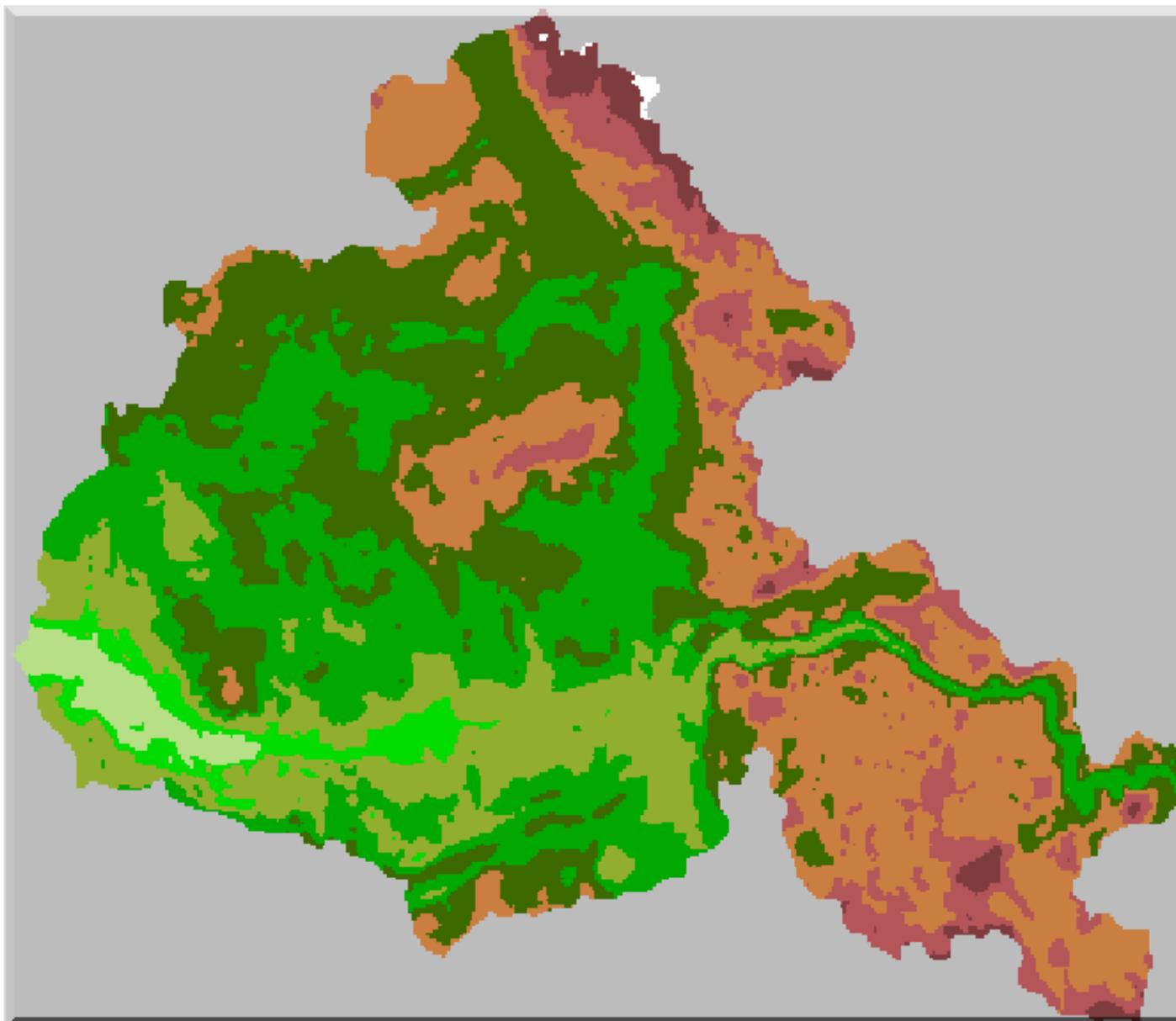
Raster della zonizzazione acustica della città di Venezia



Raster dell'elevazione del Terreno

Legenda

<i>Elevation</i>	
	1112 - 1143
	1144 - 1174
	1175 - 1205
	1206 - 1236
	1237 - 1267
	1268 - 1298
	1299 - 1329
	1330 - 1360
	1361 - 1391
	<i>No Data</i>



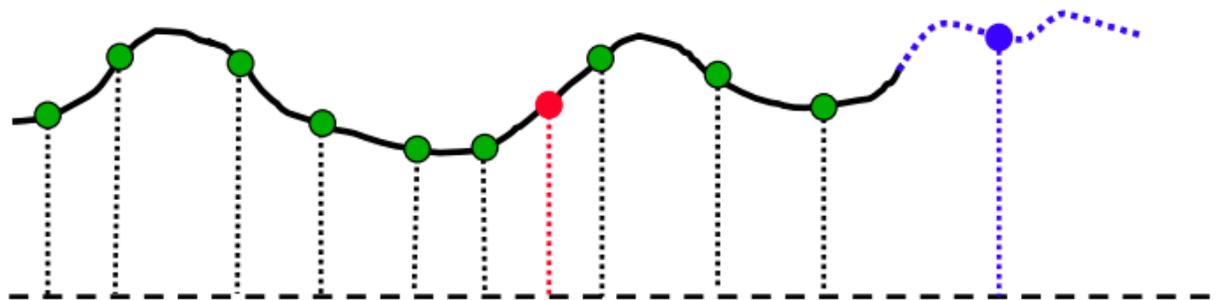
Creazione di un raster fisico: interpolazione

Interpolazione

Procedura di stima dei valori, non noti, assunti da una grandezza (es. elevazione del terreno) in punti **intermedi** ai punti in cui tale grandezza è stata misurata.

Estrapolazione

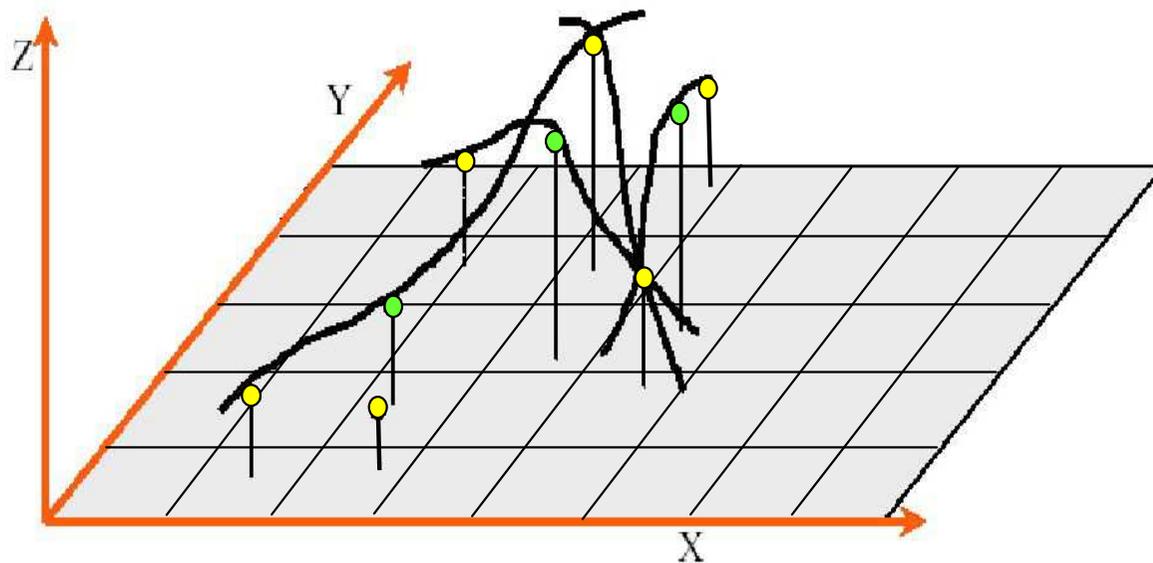
Tecnica di predizione dei valori, non noti, assunti da una grandezza all'**esterno** dell'area campionata, sulla base dei valori misurati che la grandezza assume in alcuni punti di riferimento.



- Campioni di misura
- Interpolazione
- Estrapolazione

La georeferenziazione consente di attribuire a ciascuna cella del raster una posizione geografica (**componente spaziale**), ovvero di definire *dove* si trova la cella.

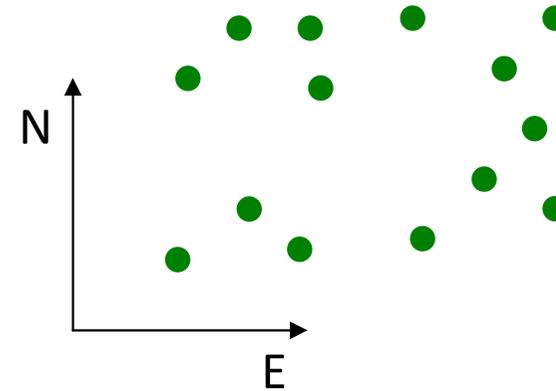
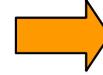
L'interpolazione consente invece di assegnare a ciascuna cella il valore di un attributo (**componente aspaziale**), ovvero di definire *cosa* contiene la cella.



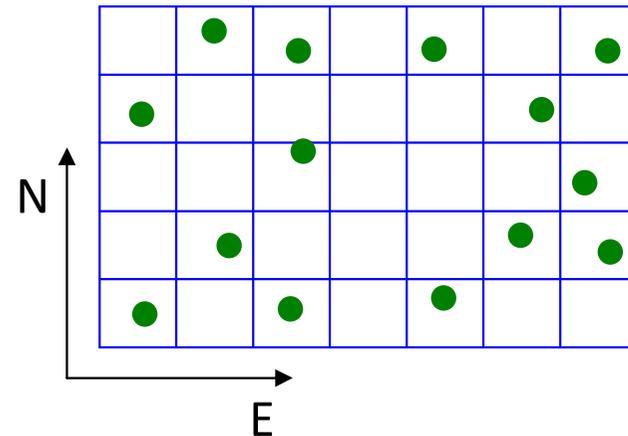
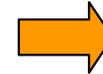
- Campioni noti
- Campioni interpolati

Procedura di interpolazione da misure discrete

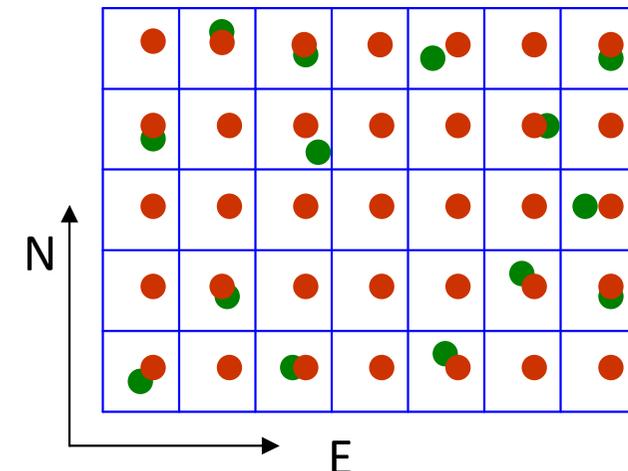
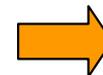
1) I dati (ad es. quote terreno) sono acquisiti in modo **irregolare**.



2) Lo spazio occupato dai campioni di misura (bounding box) viene suddiviso secondo una griglia **regolare**.

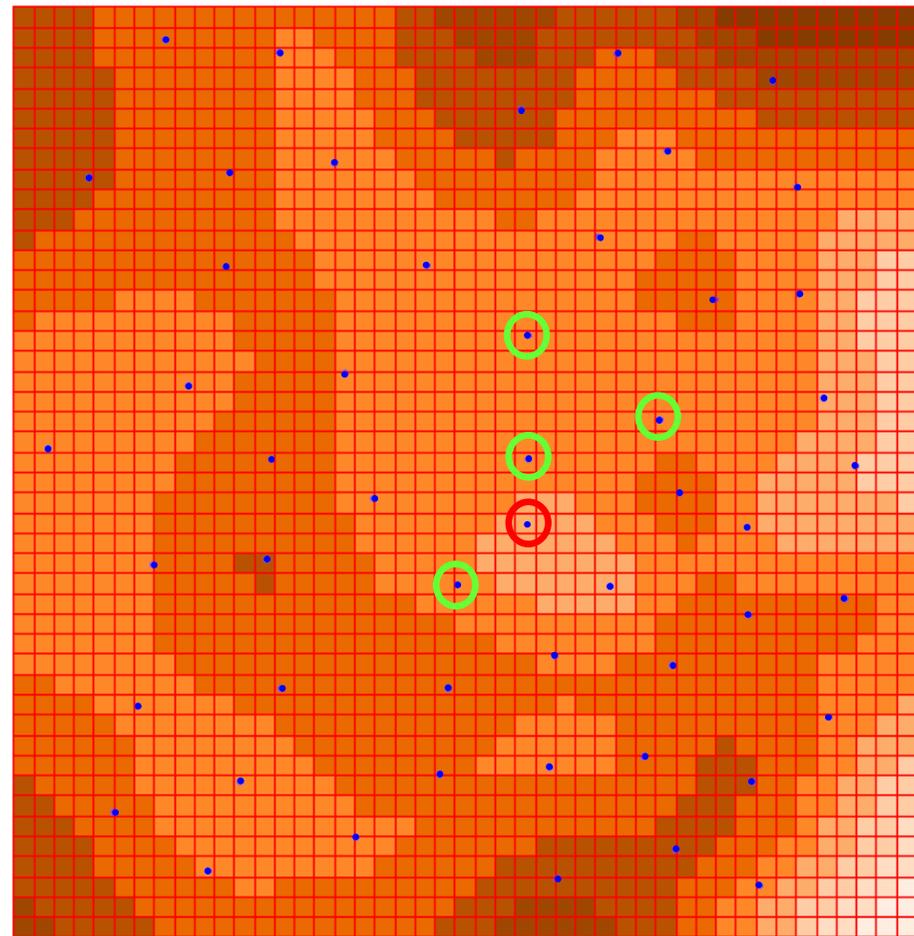
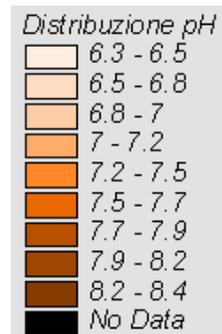


3) I valori delle celle vengono calcolati tramite algoritmi di **interpolazione**.



Gli algoritmi di interpolazione basano il loro funzionamento sul concetto di **correlazione spaziale**, assumono cioè l'ipotesi che misure **spazialmente vicine** della stessa grandezza siano legate tra loro da una qualche relazione matematica.

Questo è tanto più vero quanto maggiore è la densità delle misure (campioni).



Esempio di GRID ottenuto per interpolazione di misure della distribuzione del pH nel terreno.

Dimensione delle celle: 20 m.

Punti in blu: distribuzione dei campioni di misura

Georeferenziazione di un raster fisico

Un raster fisico può essere archiviato sottoforma di file binario o ASCII.

A seconda del formato, al suo interno, oltre ai dati, può essere presente anche l'informazione di georeferenziazione.

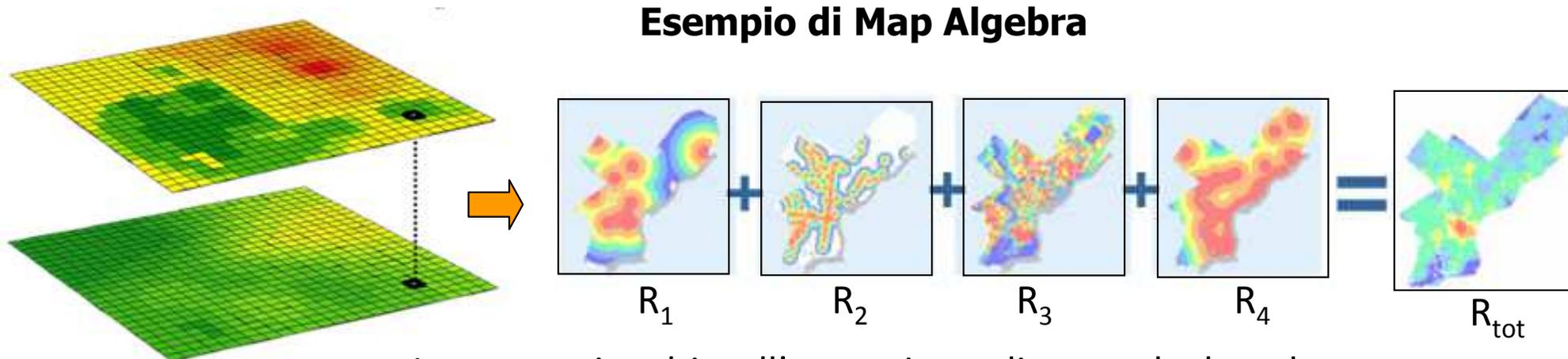
Info georef.	ncols 801	(Nx)
	nrows 801	(Ny)
	xllcenter 1657997	(Xmin)
	yllcenter 5119997	(Ymin)
	cellsize 5	(Δx)
Valori delle celle (dati)	nodata_value 999999999999	
	390.000000 390.000000 390.000000 390.000000 390.000000	
	390.000000	
	384.000000 383.000000 383.000000 382.000000 381.000000	
	381.000000 381.000000 380.000000	

Esempio di file raster in formato ASCII

La struttura matriciale del formato GRID presenta alcuni vantaggi:

- modifica del contenuto di una cella \Rightarrow basta conoscere la sua posizione all'interno della matrice;
- calcolo area \Rightarrow è sufficiente selezionare tutte le celle di un certo valore per conoscerne l'area totale ed evidenziarla sullo schermo;
- Map Algebra \Rightarrow attraverso semplici operazioni aritmetiche ed insiemistiche è possibile incrociare tra loro più matrici per ricavarne una nuova che sintetizza il risultato.

Esempio di Map Algebra

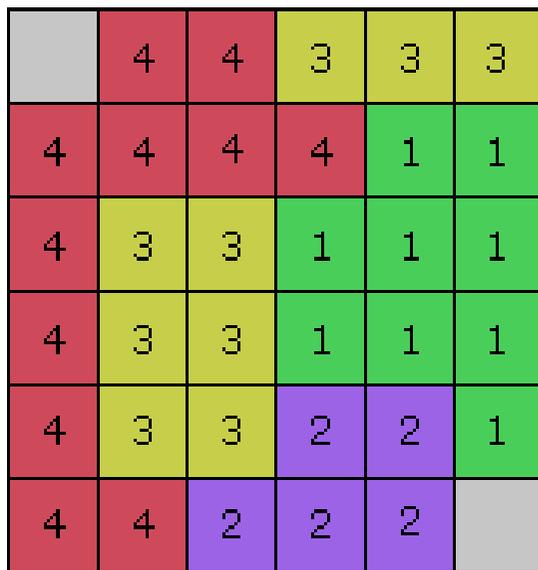


I raster coinvolti nell'operazione di map algebra devono avere tutti la stessa estensione e la stessa risoluzione spaziale.

2. Raster classificato

Ad ogni cella è associato un numero (**valore simbolico**) che dichiara che lo spazio geografico corrispondente a quella cella appartiene ad una certa **classe**.

Esempio: mappa raster della copertura del suolo, dove ogni cella assume un valore numerico intero il cui significato si desume da una tabella associata al raster stesso.



VALUE	COUNT	TYPE	AREA
1	9	Bosco	8100
2	5	Paludoso	4500
3	9	Agricolo	8100
4	11	Urbanizzato	9900

Grey square: No data

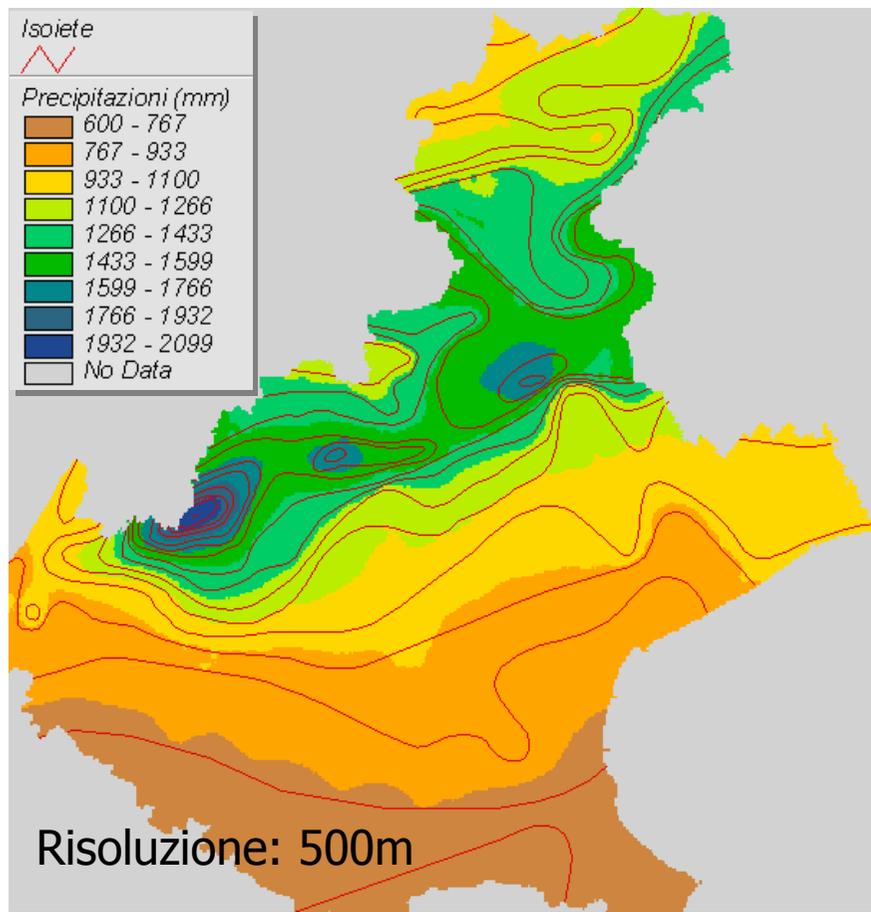
Generalmente è ottenuto da un raster fisico come risultato di una **riclassificazione**, operazione tramite la quale viene creata la tabella che contiene il collegamento tra cella e relativo valore dell'attributo.

E' georeferenziato, perché è tale il raster sorgente.

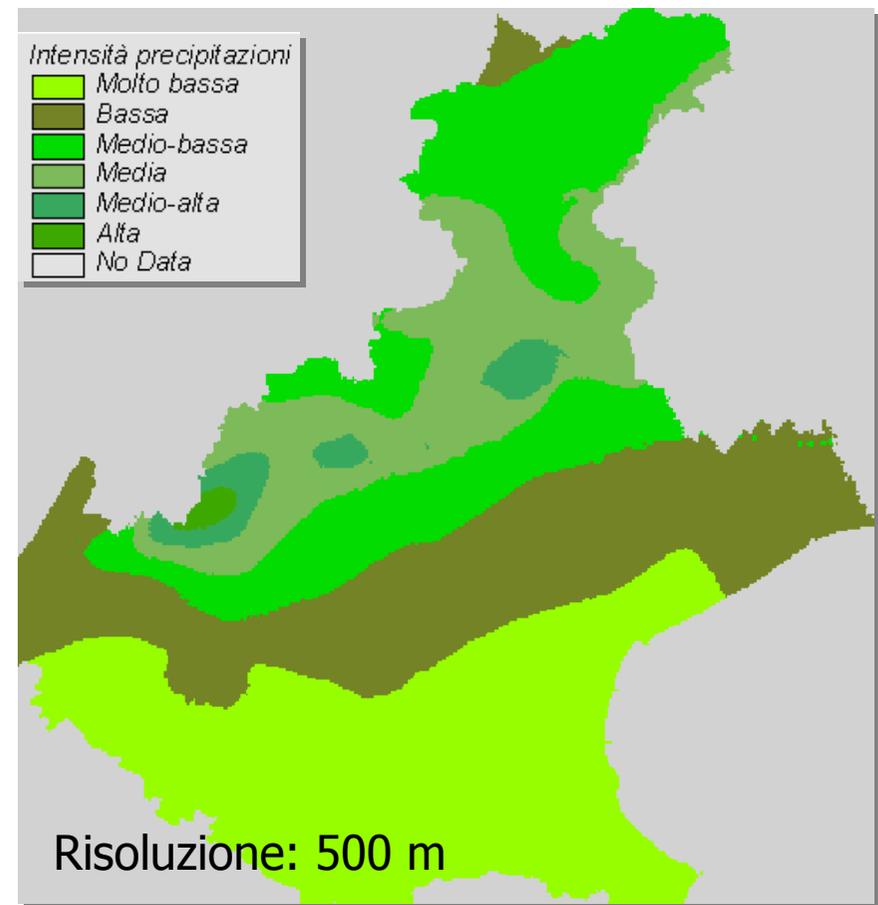
Non è ulteriormente interpolabile perché i valori delle celle non hanno alcuna continuità spaziale.

Raster delle precipitazioni in Veneto derivato dalla riclassificazione del raster fisico ottenuto per interpolazione del modello vettoriale lineare delle isoiete.

Modello vettoriale lineare delle isoiete
sovrapposto al corrispondente raster.



Raster riclassificato



3. Raster immagine

Alla categoria dei raster GRID appartengono anche le immagini rilevate da aereo o da satellite (**immagini telerilevate**).

In questo caso ad ogni cella del raster viene associato un valore numerico che rappresenta una misura della quantità di **energia elettromagnetica**, riflessa, emessa dalla superficie terrestre (spettro del visibile, termico o infrarosso) o proveniente dalla registrazione di impulsi di ritorno da fonti artificiali (radar, sensori laser).

L'unità spaziale elementare (cella del raster) prende il nome di **pixel** (*picture element*) e la sua dimensione, intesa come dimensione del lato dell'area coperta al suolo, si misura in **metri** (**risoluzione spaziale** del raster).

Un'immagine aerea o satellitare può essere georeferenziata, in modo da poter essere appoggiata in modo coerente su altri dati geografici.

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



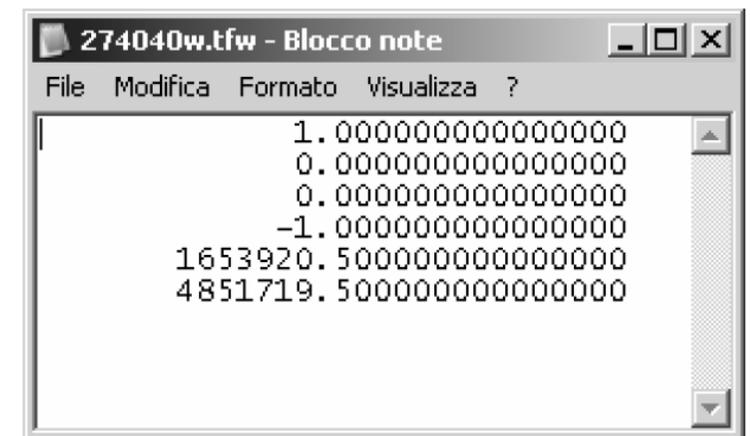
Georeferenziazione di raster immagine

Diversamente dai raster fisici, ottenuti per interpolazione, nel caso di raster di tipo immagine la corrispondenza tra pixel (cella) e posizione geografica viene stabilita attraverso una **trasformazione geometrica** dell'immagine stessa.

I valori necessari per georeferenziare un'immagine sono a volte contenuti in un file di appoggio (**world file**), di tipo ASCII, con lo stesso nome dell'immagine e estensione diversa (es. JPG \Rightarrow JPW, TIF \Rightarrow TFW).

Il *world file* contiene **sei valori**:

- dimensioni del pixel nella direzione X (est)
- rotazione rispetto all'asse Y (nord)
- rotazione rispetto all'asse X (est)
- dimensioni (negative) del pixel nella direzione Y (Nord)
- coordinata X (est) del primo pixel in alto a sinistra
- coordinata Y (nord) del primo pixel in alto a sinistra



Il *world file* non è l'unico modo di associare ad un'immagine raster le corrispondenti informazioni di georeferenziazione.

Esistono infatti altri formati immagine per i quali tale informazione viene inserita in modo opportuno all'interno del file stesso.

Un esempio in tal senso è rappresentato dai formati **GeoTiff** e **ECW**.

GeoTIFF: formato immagine di pubblico dominio che permette di incorporare riferimenti geografici all'interno di un'immagine di tipo TIFF.

Non tutti i generici software di visualizzazione delle immagini sono in grado di riconoscere questo formato e quindi di aprire e leggere il contenuto del corrispondente file.

ECW (Enhanced Compressed Wavelet): formato standard per la compressione di immagini di grandi dimensioni, ampiamente usato nel settore della geomatica e sviluppato dalla **ER Mapper**.

Tale formato offre tre vantaggi principali:

- 1) Notevole riduzione della dimensione dei files di immagini raster (fino a 100 volte);
- 2) Visualizzazione immediata delle immagini compresse senza tempi di attesa dovuti alla decompressione del dato e sostanzialmente indipendenti dalla dimensione totale dell'immagine (ottimizzato per la gestione di dati geospaziali quali foto aeree, ortofoto, immagini satellitari ecc.)
- 3) La tecnica di compressione utilizzata opera similmente al caso di un'immagine piramidale (in cui il dato è presente a più risoluzioni) senza gli sprechi di spazio legato alla memorizzazione di dati aggiuntivi.

3. Raster cartografico

Documento raster (immagine) ottenuto dalla digitalizzazione di una cartografia tramite scanner.

Si tratta di un GRID di tipo **binario** nel quale i pixel possono assumere solo due valori, **1** (tono scuro) o **0** (tono chiaro), a seconda che nella cella sia presente o meno il tratto grafico della carta.

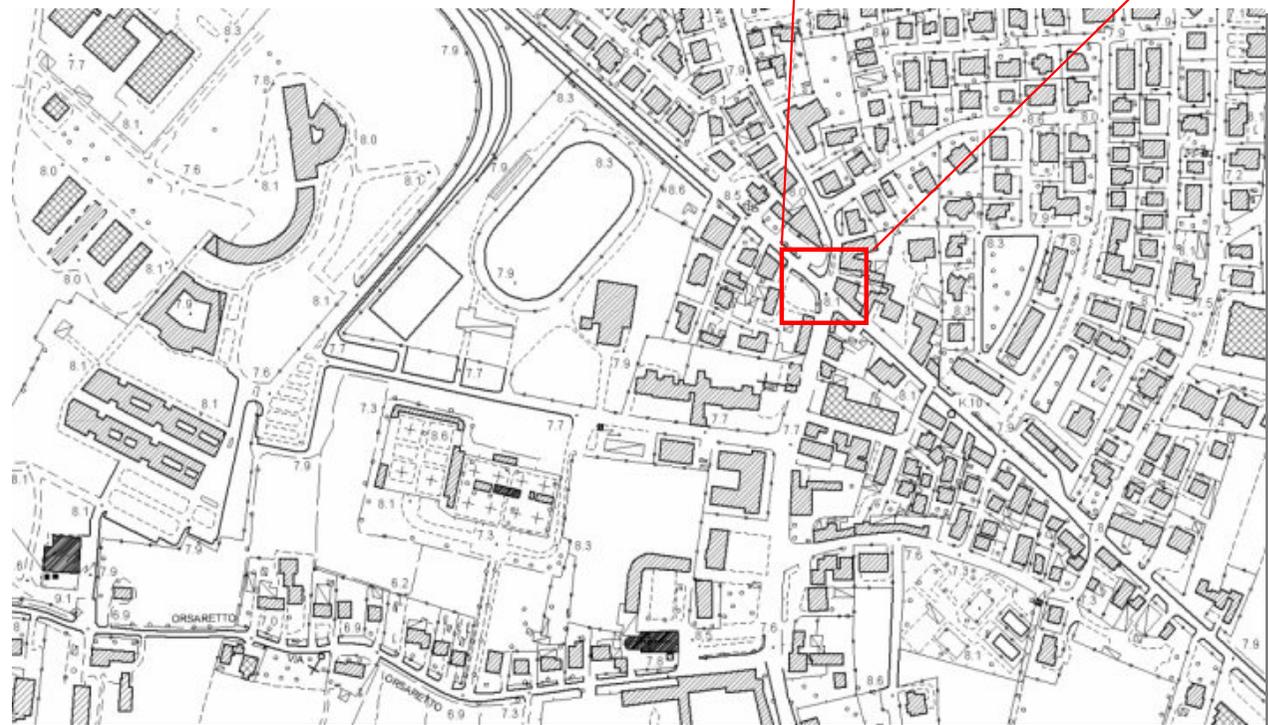
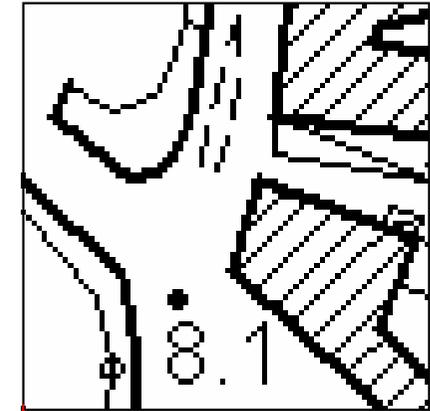
Pertanto ciascun pixel non esprime né il valore di una grandezza (raster fisico), né l'appartenenza ad una classe (raster classificato).

I valori delle celle sono quindi raggruppati in strutture lineari in funzione della distribuzione dei tratti del pennino sulla carta.

Rappresentazione
matriciale del contenuto di
una cartografia raster

1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0

Ingrandimento della zona
contornata dal rettangolo in
cui si evidenzia la struttura
raster dell'informazione.



Anche la cartografia raster dev'essere **georeferenziata** per poter essere
trattata come dato geografico.

Principali caratteristiche delle varie tipologie di GRID

Tipo di Raster	Visualizzazione	Classif.	Interp.	Risoluzione	Georef.
Fisico	SI (come dato spaziale)	SI	SI	metri	Completa
Classificato	SI (come dato spaziale)	NO	NO	metri	Completa
Immagine	SI (come dato spaziale)	NO	NO	metri o dpi*	Completa
Cartografico	SI (come dato spaziale)	NO	NO	dpi	Completa

* Nel caso di immagini satellitari o foto aeree la risoluzione può essere indicata in modo diverso a seconda della caratteristica che si considera preminente:

- come fonte di dati spaziali → metri
- come semplice immagine fotografica → dpi

Risoluzione e dimensione minima

Nell'ambito dei GRID, il termine **risoluzione** indica la dimensione della cella: più piccola è la sua dimensione, maggiore è la risoluzione del raster.

La scelta della dimensione della cella dipende dai seguenti fattori:

- risoluzione spaziale dei dati di input (funzione a sua volta del metodo e degli strumenti di acquisizione);
- ampiezza dell'area di studio;
- capacità di memorizzazione e velocità di elaborazione del calcolatore;
- precisione e livello di dettaglio richiesti per l'analisi.

- Una cella di **piccole dimensioni** consente di rappresentare gli elementi geografici (oggetti e fenomeni) con grande dettaglio e accuratezza.

A parità di estensione di territorio da “coprire”, una risoluzione elevata comporta però l’uso di un raster con un numero molto elevato di celle e di conseguenza:

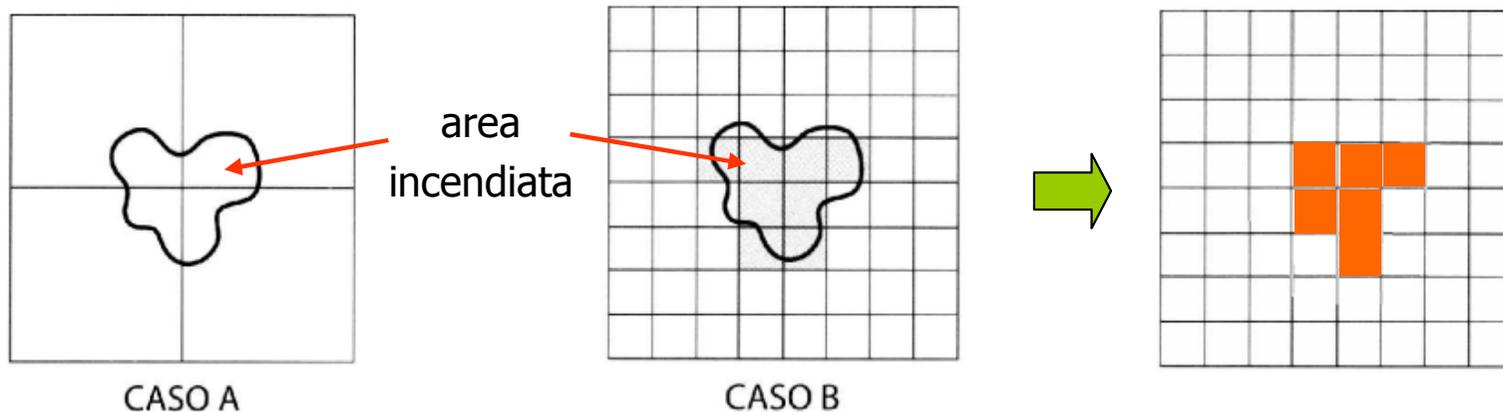
- un maggiore spazio di memorizzazione;
- un maggiore tempo di elaborazione.

Questo incremento nella richiesta di hardware va attentamente considerato quando si desidera rappresentare una porzione di territorio molto ampia con un raster ad alta risoluzione.

- Se invece la cella è **troppo grande** si può perdere dell’informazione oppure nascondere delle entità o caratteristiche di interesse.

Vediamo un esempio.

Supponiamo di voler rappresentare in un raster GRID l'area incendiata di un bosco eseguendo una discretizzazione del poligono che la rappresenta e adottando una classificazione delle celle per "soglia".



Caso A: la dimensione della cella è tanto grande che l'area copre una superficie minima di ogni cella, pertanto essa non verrà rappresentata in nessuna cella.

Caso B: l'area incendiata copre gran parte di almeno sei celle, pertanto verrà rappresentata dalle sei celle in arancione.

Come si vede dall'esempio precedente, la risoluzione del raster e la dimensione del minimo elemento rappresentabile sono due parametri strettamente correlati tra loro.

L'esempio evidenzia come la dimensione del minimo elemento rappresentabile dev'essere significativamente **più grande** della dimensione della cella.

Come regola generale si suggerisce di usare celle di dimensioni pari al massimo alla metà della lunghezza del più piccolo elemento preso in considerazione.

Confronto tra Raster e Vector - 1

I software GIS consentono di variare a proprio piacimento la **scala di visualizzazione** di un disegno o vista attraverso operazioni di ingrandimento o riduzione (variazione del fattore di zoom) .

Nel caso del modello vettoriale la capacità di visualizzazione degli elementi geometrici costitutivi (punti, linee, poligoni, testi e simboli) rimane inalterata.

Viceversa, nel caso di modelli raster (es. immagini telerilevate), applicando ingrandimenti via via crescenti, l'oggetto tende a “**sgranarsi**” sempre di più rivelando la dimensione finita e non puntuale del pixel (cella).

Oltre tale livello di zoom l'immagine non comunica più informazione, l'utente non è più in grado di riconoscere i vari elementi geografici come entità a sé stanti.

Modello vettoriale sovrapposto ad un raster fisico (ortofoto, ris. 1 m)



Scala di visualizzazione 1:5000

Aumentando la scala di visualizzazione oltre il fattore di scala per il quale l'immagine raster è stata concepita, il pixel inizia a perdere la sua connotazione di elemento puntuale dell'immagine.



Scala di visualizzazione 1:1000

Ulteriori ingrandimenti producono un effetto di “**disaggregazione**” degli elementi geografici: oltre tale livello di visualizzazione l’immagine, non è più in grado di comunicare alcuna informazione. Viceversa il contenuto informativo proprio degli elementi vettoriali resta inalterato.



Scala di visualizzazione 1:500

Confronto tra Raster e Vector - 2

	Dati vettoriali	Dati raster GRID
Struttura dati	Punti, linee, poligoni e relazioni topologiche	Di tipo matriciale. Righe e colonne definiscono una griglia regolare di celle
Origine	Dipende dal sistema di riferimento cartografico adottato	Generalmente in basso a sinistra
Coordinate	Sono memorizzate le coordinate reali (x,y) o (x, y, z) per ogni primitiva geometrica	Solo l'origine è georeferenziata; per le altre celle viene ricalcolata.
Risoluzione	Dipende dalla metodologia di acquisizione dati e dalla scala del dato sorgente.	Dipende dalla dimensione della cella.

	Dati vettoriali	Dati raster GRID
Attributi	Ad ogni elemento può essere associato uno o più attributi	Uno solo, il cui valore è legato alla posizione della cella nella griglia
Memorizzazione	Struttura dati compatta, non ridondante, occupazione di memoria contenuta.	Struttura dei dati poco compatta. Ridondanza nelle aree omogenee, grandi quantità di dati da archiviare
Relazioni topologiche	Facilità di rappresentazione	Difficoltà di rappresentazione (inclusione, intersezione ?)
Sovrapposizione (<i>overlay</i>)	Difficilmente implementabile, occorrono più elaborazioni. Gli attributi legati restano distinti	Facilmente implementabile, molto efficiente. I valori delle celle sono sommati insieme

	Dati vettoriali	Dati raster GRID
Dati sorgente	<u>Dati discreti</u> (perimetrabili): idrografia, reti stradali, limiti amministrativi, linee elettriche, uso del suolo, ecc.	<u>Dati continui</u> (non perimetrabili): elevazione, temperatura, piovosità, tipo di suolo, ecc.
Pre-elaborazioni	Generalmente non necessarie, la maggior parte dei dati geografici è disponibile in forma vettoriale	Spesso devono essere sottoposti ad una conversione vector-raster
Analisi dei dati	Complessa, richiede l'utilizzo delle relazioni topologiche o geometriche	Più semplice in quanto si opera su matrici
Caratteristiche dell'informazione	<i>Isotropia</i> : i dati possono essere elaborati lungo qualsiasi direzione.	<i>Anisotropia</i> : le direzioni considerate per ogni cella sono solo 8, di cui 4 nelle direzioni cardinali e 4 in quelle diagonali.