

Tecnologie per i Beni Culturali
Corso di Cartografia tematica
Dott. Maria Chiara Turrini

Introduzione ai GIS

SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI (SIT)

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

“INSIEME DI STRUMENTI PER ACQUISIRE,
ARCHIVIARE, ESTRARRE, ELABORARE E
RAPPRESENTARE DATI SPAZIALI DEL MONDO REALE”
(Burrough, 1986)

“INSIEME DI PROCEDURE, BASATE SULL'USO DI
SISTEMI INFORMATICI, USATE PER ARCHIVIARE ED
ELABORARE DATI GEOREFERENZIATI”
(Aronoff, 1989)

Il sistema informativo geografico (GIS) è un insieme di strumenti informatici concepito per descrivere ed analizzare elementi, eventi e fenomeni inerenti la superficie terrestre.

La tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di database (interrogazioni -query- , analisi statistiche) con i benefici dell'analisi geografica consentita dalle mappe cartografiche.

Questa particolarità distingue il GIS dagli altri sistemi di informazione e fa di esso un potente strumento utilizzabile da molteplici operatori privati e pubblici per pianificare gli eventi, predire i risultati e definire strategie.

Il GIS consente di creare mappe, integrare informazioni, visualizzare scenari, risolvere complessi problemi e sviluppare effettive soluzioni esprimibili sia in forma cartografica che nella forma quali-quantitativa.

Componenti del GIS



L'**hardware** è l'insieme dei computer con il quale il GIS opera. Oggi il software GIS opera su una vasta tipologia di sistemi hardware, dai sistemi centralizzati ai personal computer, in configurazione stand alone oppure in rete.

Il **software** GIS dispone di funzioni e strumenti necessari a raccogliere, analizzare, e visualizzare le informazioni geografiche. Gli elementi fondamentali sono:

- Strumenti per l'input e gestione degli elementi geografici
- Un database relazionale (RDBMS)
- Strumenti che supportano interrogazioni, analisi e visualizzazioni
- Interfaccia utente grafica (GUI) per consentire un facile accesso

Rivestono grande importanza nel GIS i **dati** e la loro organizzazione. I dati geografici e le tabelle descrittive associate possono essere raccolte in proprio o acquisite da organizzazioni commerciali. Il GIS può integrare i dati spaziali con fonti diverse tramite l'uso di database relazionali.

Il GIS non avrebbe senso se non ci fossero le **persone** che gestiscono il sistema oppure sviluppano piani per l'applicazione di esso ai problemi reali. Gli utilizzatori vanno dagli specialisti tecnici che disegnano e mantengono il sistema, sia che si occupino di problemi strettamente informatici o connessi agli aspetti disciplinari geografici, agli utenti generici che lo utilizzano quotidianamente nel proprio lavoro.

Metodi

La principale caratteristica del GIS è costituita dalla sua flessibilità, ovvero dalla capacità di adattarsi a situazioni e modelli organizzativi propri di ciascuna organizzazione.

Cartografia Numerica

Si intende con questo termine la cartografia su supporto informatico acquisita mediante **digitalizzazione** di basi cartografiche esistenti oppure ottenuta direttamente da **restituzione puntuale** (punti GPS) o da **restituzione fotogrammetrica**.

L'elemento base è l'insieme delle coordinate, codificate secondo le regole delle banche dati (database), che rappresentano il territorio sotto forma di disegno su video e/o su carta

Può essere considerata una raccolta organizzata di informazioni riguardanti la rappresentazione del territorio analizzabile attraverso un opportuno linguaggio di interrogazione

La **cartografia numerica** è quindi basata su archivi di coordinate che descrivono la geometria degli oggetti cartografati e di codifiche che ne individuano la tipologia.

La cartografia numerica è quindi in un certo senso **un'immagine speculare della cartografia tradizionale**: infatti mentre l'elemento base di quest'ultima è sostanzialmente un disegno che contiene **in forma implicita** e ricavabile da misure sulla carta **le coordinate dei punti**, nel caso della cartografia numerica l'elemento base è **l'insieme delle coordinate** che contiene **in forma implicita** la sua visualizzazione sotto forma di **disegno**.

La cartografia numerica ha tutti i contenuti e almeno tutte le stesse funzioni di base della cartografia tradizionale.

L'archiviazione delle informazioni della carta è su supporto INFORMATICO; il documento fondamentale di archivio è costituito dai files della carta (file unico o files separati per edifici, altimetria, reticolo idrografico, ...)

Scala della cartografia numerica

Poiché le procedure di costruzione della carta numerica danno alla carta un contenuto metrico ben definito, il **concetto di scala** è mantenuto anche nella cartografia numerica, con il significato di massimo rapporto di scala a cui si possa riprodurre una carta mediante plotter in modo tale che essa abbia gli stessi requisiti qualitativi e metrici di una carta tradizionale avente la stessa scala.

A tale rapporto si dà il nome di **scala nominale** (pari al rapporto di scala che avrebbe una carta tradizionale di corrispondente precisione metrica e qualitativa).

La visualizzazione della cartografia a scala superiore a quella nominale non fornisce quindi maggiori informazioni sull'oggetto cartografato, ma permette solo di leggerne meglio i dettagli.

Cartografia numerica

Si ottiene per:

- acquisizione mediante digitalizzatori
- acquisizione punti quotati mediante tecniche topografiche
- dati vettoriali da restituzione fotogrammetrica

Cartografia raster

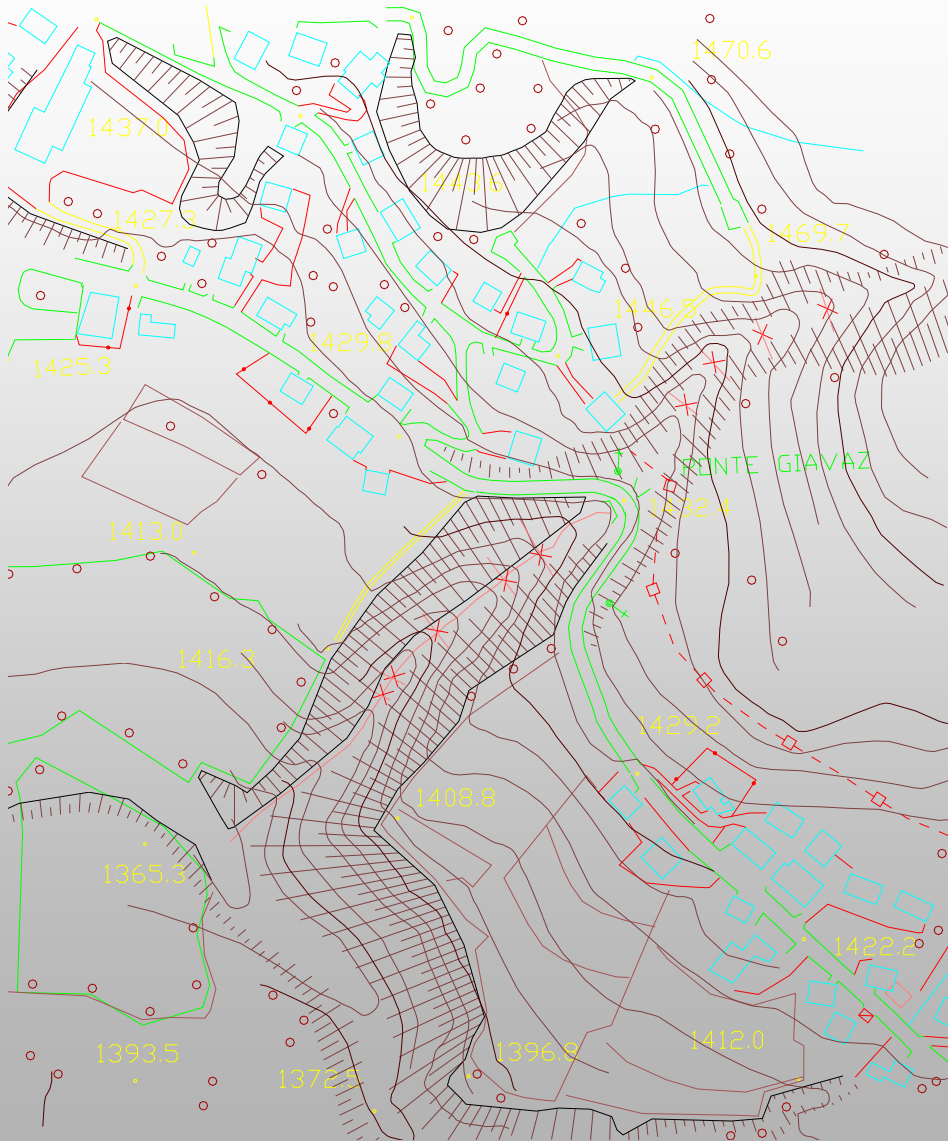
Si ottiene mediante:

- scansione della cartografia cartacea, è quindi una **IMMAGINE**
- non possiede una struttura, non è interrogabile; il suo possibile impiego è solo quello di sfondo
- può essere resa vettoriale mediante processi di vettorizzazione manuale o semi automatica

ELEMENTO VETTORIALE – PROVINCIA DI BELLUNO

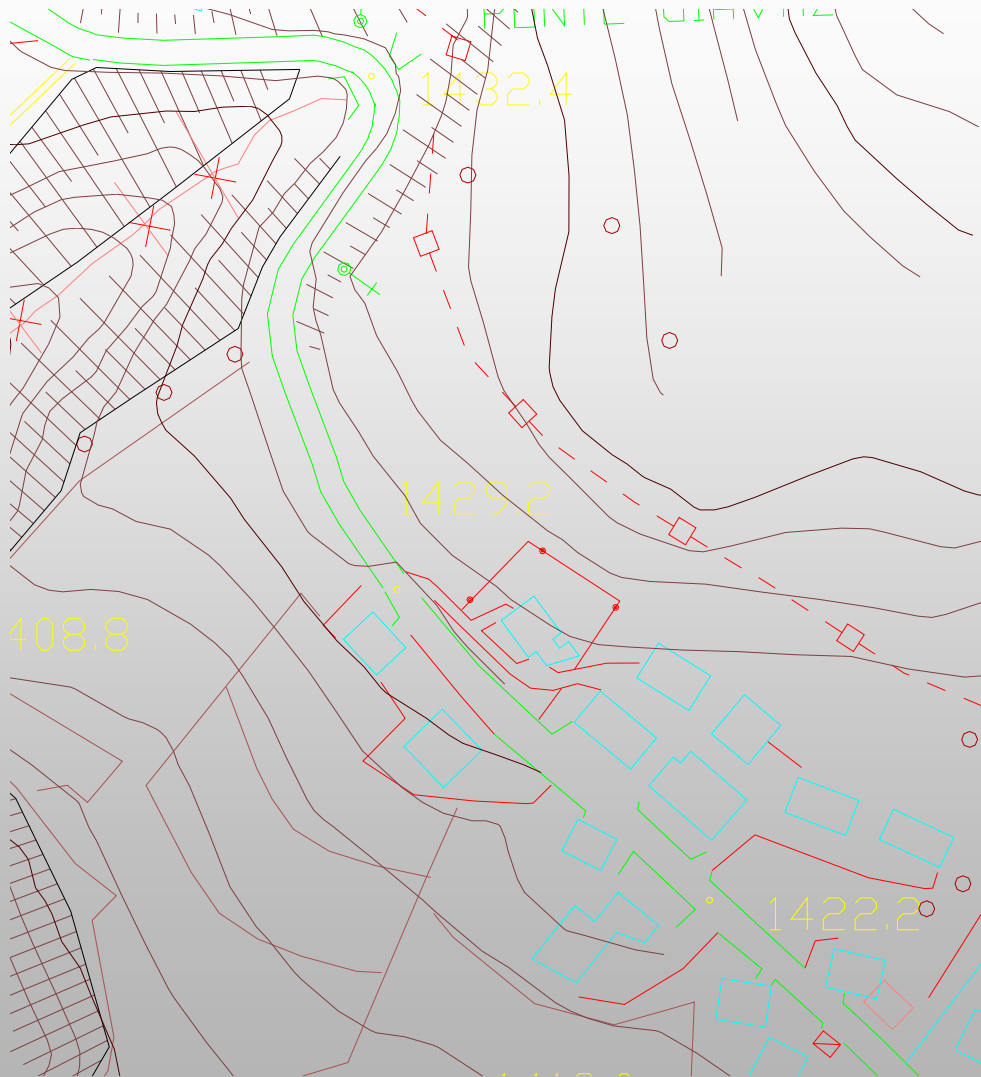


PARTICOLARE DELL'ELEMENTO PRECEDENTE



Disegno AutoCAD salvato
in formato DXF

ULTERIORE INGRANDIMENTO DELL'ELEMENTO PRECEDENTE



La qualità del disegno
non è cambiata

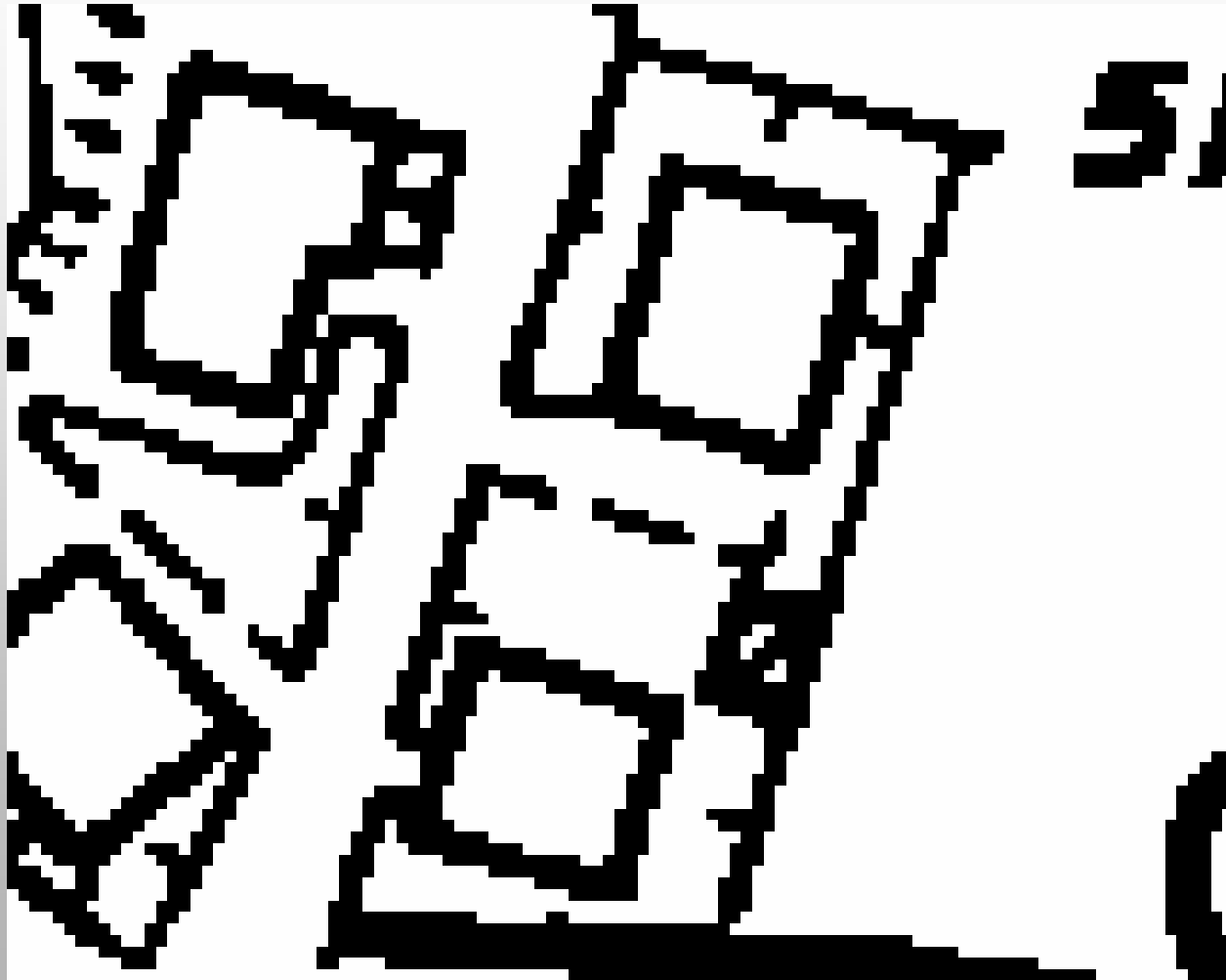
ELEMENTO RASTER – PROVINCIA DI PARMA



PARTICOLARE DELL'ELEMENTO PRECEDENTE

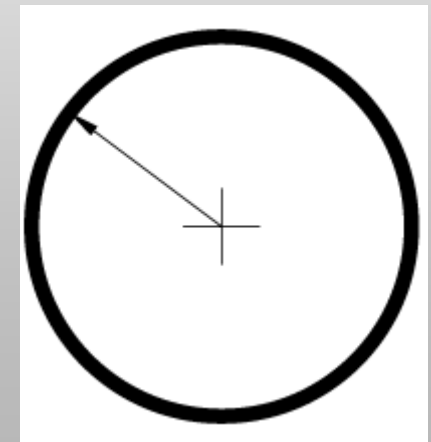
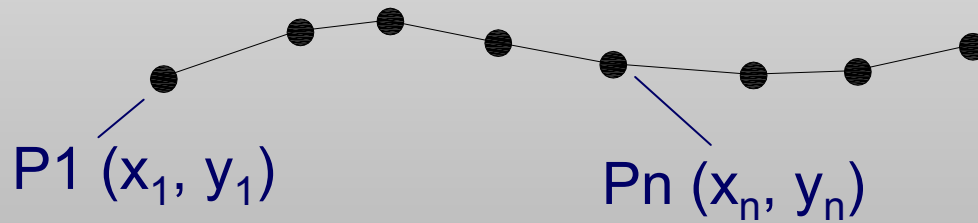
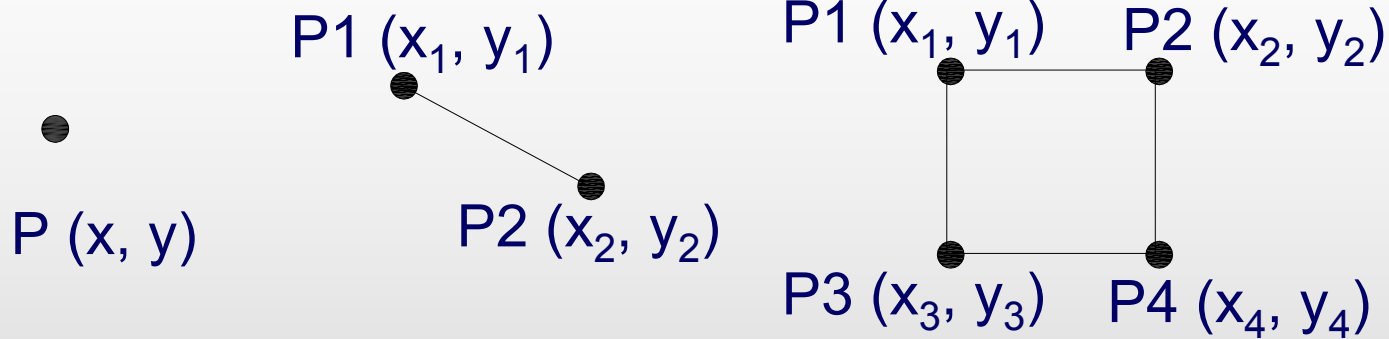


ULTERIORE INGRANDIMENTO DELL'ELEMENTO PRECEDENTE



Diventano visibili
i pixel

Formato VECTOR dei dati



Formato VECTOR dei dati

Contengono ENTITA' GRAFICHE di vario tipo (punti, linee, "polilinee", curve, aree, ...) descritte analiticamente mediante le coordinate (2D o 3D) dei vertici caratteristici che definiscono tali entità (ad es. per un quadrilatero che rappresenta un fabbricato si avranno 4 punti)

Gli elementi grafici che si basano sui vettori sono descritti mediante una formula matematica ed attributi supplementari. Per quanto riguarda un cerchio, allo scopo serve - ad esempio - il centro (sotto forma di coordinata) ed il raggio.

Gli attributi possono definire ulteriormente, ad esempio, il tratto, il colore, ecc.

Formati vettoriali più comuni

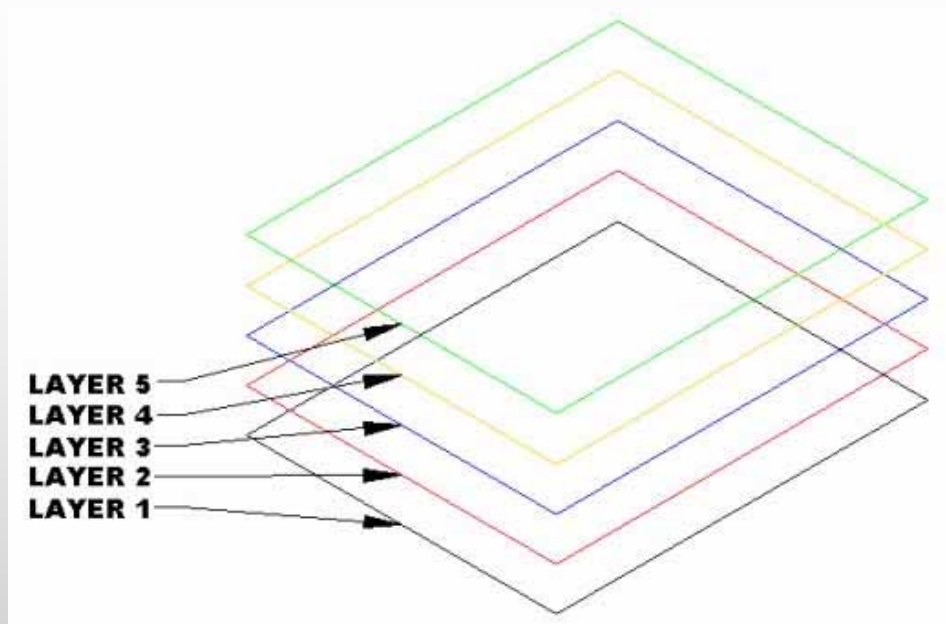
DWG Software AutoCAD®, formato binario

DXF Formato di scambio (D^rawing eXchange F^ormat), testo ASCII

NTF Utilizzato dal Catasto Italiano per le mappe digitalizzate, binario

Una caratteristica molto importante dei files vettoriali è quella di poter essere organizzati in LAYER (strati o livelli)

Nella cartografia numerica, a ogni layer (identificato da un codice alfanumerico) viene associato un “livello informativo” ovvero una classe di “oggetti” rappresentati (strade, fabbricati, idrografia, curve di livello, toponomastica, reticolati, ...)



Layer 1	Viabilità	cod. 0001
Layer 2	Isoipse	cod. 0002
Layer 3	Edifici	cod. 0003

Applicazioni dei formati vettoriali nella cartografia

Cartografia aerofotogrammetrica ottenuta con restituzione analitica o digitale; “nasce” in formato vettoriale, georeferenziata nel datum/sistema cartografico in cui si esegue la restituzione

Esempi: Carte IGM serie 25, Carte Tecniche Regionali

Carte ottenute da digitalizzazione manuale (con tavolo digitizer) o automatica (scansione + vettorializzazione del raster) di carte tradizionali preesistenti

Esempi: Mappe catastali (files 2D in formato NTF)

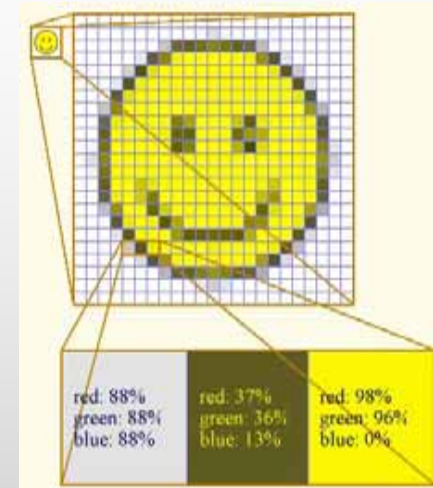
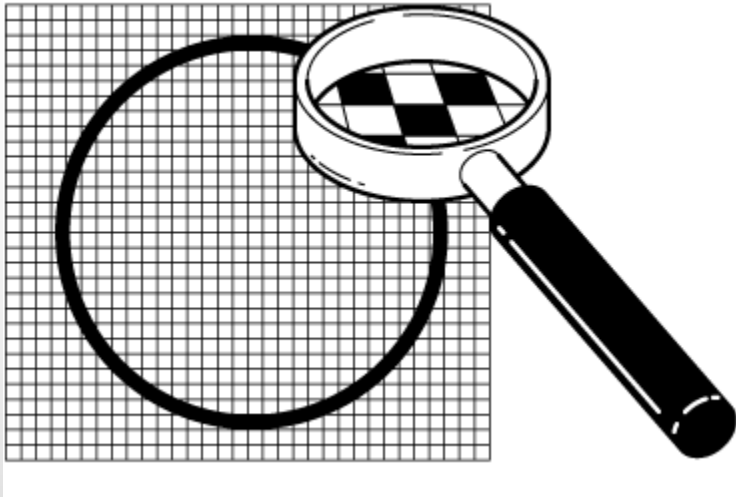
Da una carta vettoriale è possibile ottenere PLOTTAGGI su vari supporti, alla scala nominale o ad altre scale (ad es. ingrandite)

N.B. La precisione resta quella corrispondente alla scala nominale

L'impiego più vantaggioso e raccomandabile delle carte numeriche vettoriali è quello a video grafico, che sfrutta appieno le caratteristiche della carta.

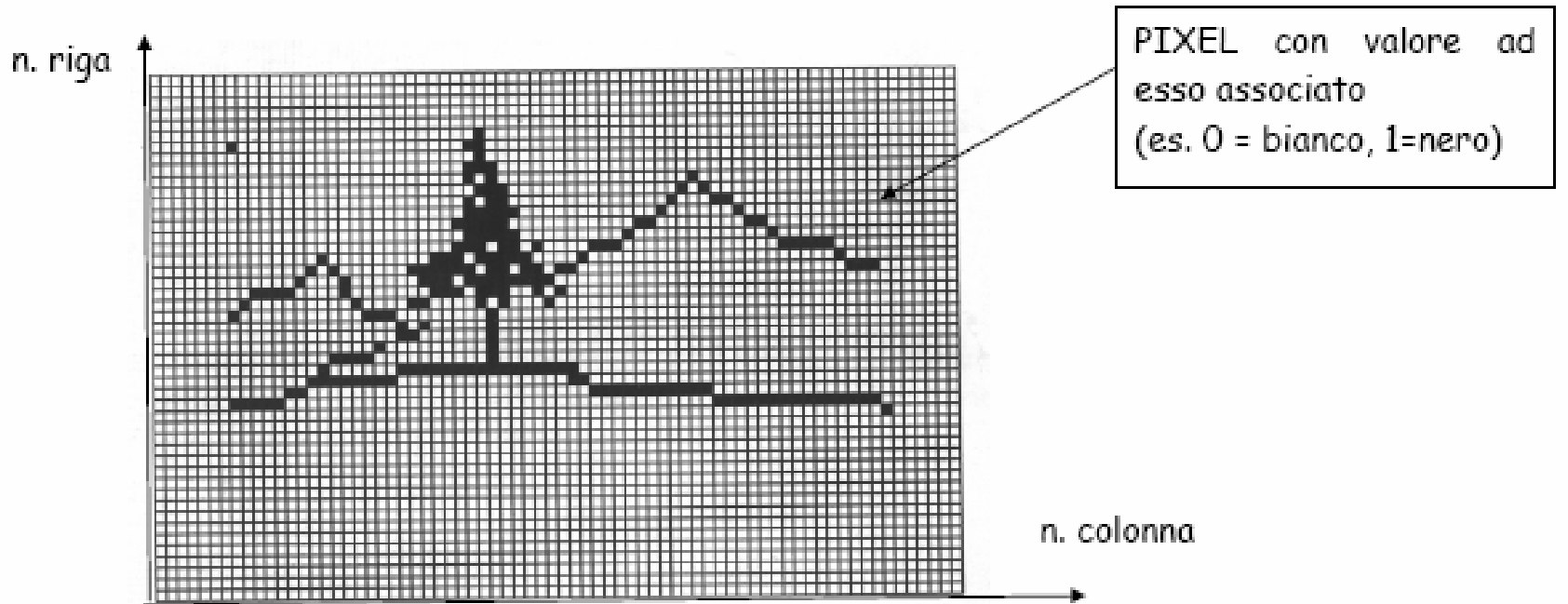
Appositi software applicativi permettono di calcolare analiticamente (e quindi in modo univoco) volumi, aree, sezioni, profili, ...

Formato RASTER dei dati



Gli elementi grafici che si basano sui raster sono descritti tramite la disposizione di singoli punti o celle (chiamati anche pixel) in una matrice. Gli attributi dei singoli pixel descrivono le diverse caratteristiche, come il colore o la trasparenza

Sono files binari o di testo costituiti da **MATRICI DI PUNTI** (**PIXEL = PICTURE ELEMENT**) a ciascuno dei quali viene assegnato un valore di intensità luminosa o un colore.



Formati più comuni delle immagini raster:

non compressi TIFF, BMP, PCX

compressi GIF, JPG

formati specifici per cartografia e GIS: ERDAS, GeoTIFF, BSQ, BIL, BIP

Ogni pixel è individuato

- dalla **posizione** espressa dal numero della riga e numero della colonna (nel sistema di riferimento interno dell'immagine)
- da un **valore** ad esso associato

Struttura di un file raster		
n. riga	n. colonna	valore
1	1	023
1	2	115
1	3	099

(formato binario o più raramente di testo)

Il Valore può essere

0-1 (bianco o nero) immagini al tratto

0-255 (scala di 256 grigi) immagini monocromatiche

0-255 (palette di colori) immagini a colori

(0-255)x3 (3 scale a 8 bit per ciascuno dei 3 colori R, G, B)

Applicazioni dei formati raster nella cartografia

Ortofotocarte digitali

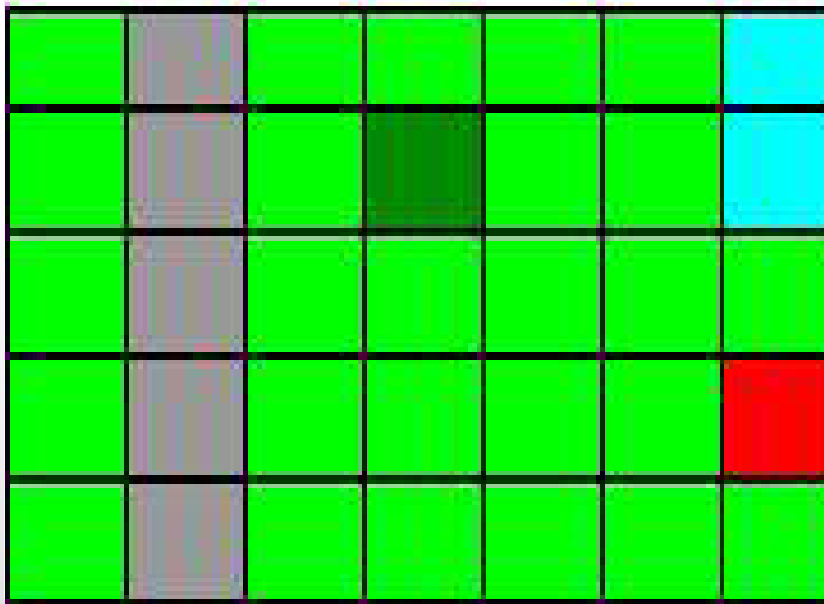
sono carte ricavate direttamente dai fotogrammi aerei o da immagini satellitari, applicando le necessarie correzioni proiettive e di scala (tenendo conto della quota). Nascono e vengono utilizzate in formato raster

Scansione di carte tradizionali preesistenti

per assicurarne la conservazione nel tempo e renderle consultabili a video. Per ottenerle occorrono scanner di grande formato (in genere a rullo)

Files di stampa in formato raster

vengono realizzati a volte anche per carte vettoriali per consentirne la stampa in grande quantità con procedure tipografiche (ad es. per la carta IGM serie 25)

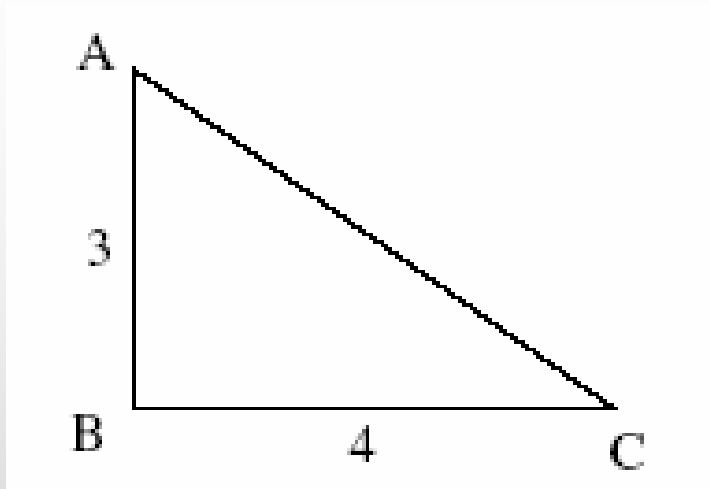


Modello raster

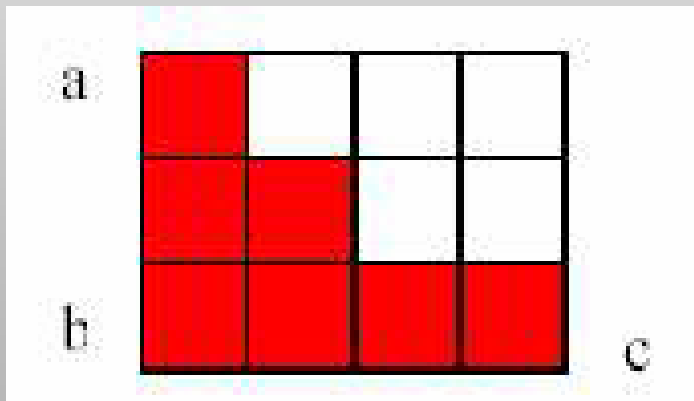
Suddivisione in celle di un'immagine.

0	1	0	0	0	0	2
0	1	0	3	0	0	2
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	4
0	1	0	0	0	0	0

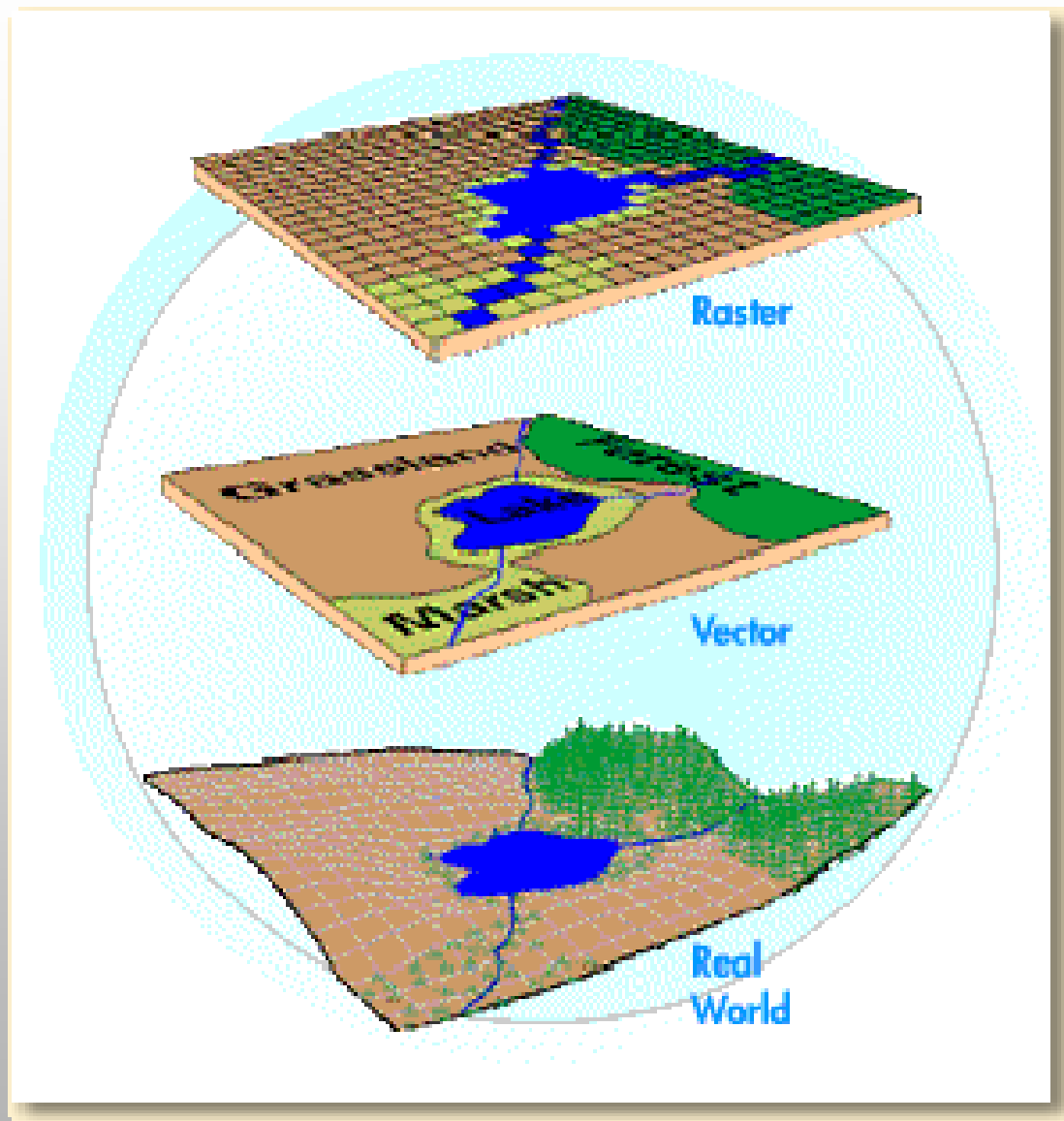
Assegnazione ad ogni cella del valore della caratteristica esaminata.



Area triangolare delimitata dai punti a,b,c



Rappresentazione raster dello stesso triangolo



Formato dati RASTER

Vantaggi:

- Ottima rappresentazione delle realtà continue
- Struttura semplice dei dati
- Analisi spaziale agevole
- Combinazione agevole dei livelli (unità spaziali direttamente comparabili)

Svantaggi:

- Occupa molto spazio
- Posizione e forma degli oggetti poco precisa (dipende dalla risoluzione)

Formato dati VECTOR

Vantaggi:

- Occupa poco spazio
- Rappresentazione precisa delle forma e della posizione degli oggetti
- Buona integrazione con le banche dati relazionali
- Approccio per oggetto

Svantaggi:

- Poco adatto alla rappresentazione delle realtà continue
- Struttura dei dati complessa
- Incrocio dei livelli complesso

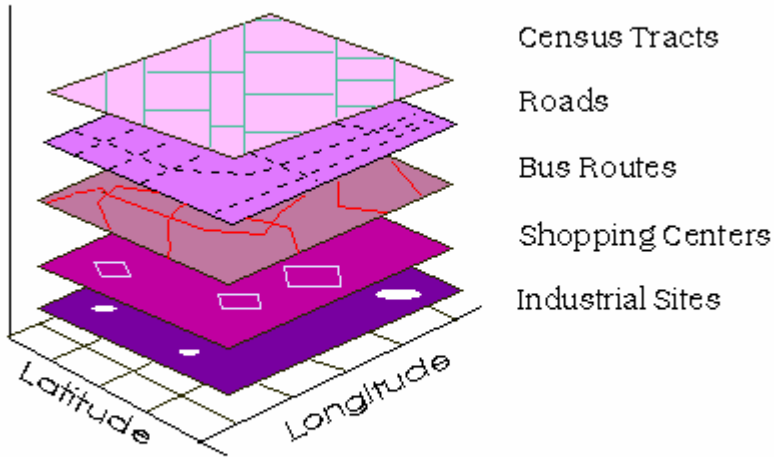
Per la cartografia vengono in genere preferiti i formati vettoriali che forniscono una rappresentazione analitica che risulta univoca nella memorizzazione e attribuzione di coordinate, oltre ad occupare minor spazio su HD e RAM

Sono utilizzati per le “**carte numeriche**” in quanto ogni oggetto è descritto da un insieme di numeri (identificativi vertici e coordinate 2D o 3D)

Le dimensioni sono inferiori a quelle dei files raster e la descrizione geometrica essendo analitica è **univoca**

“Navigando” nel file a video con il cursore (mouse) si leggono immediatamente le 2 o 3 coordinate.

Geographical Information Systems



GIS: An Integrating Technology

I GIS si basano sulla fusione di due capisaldi dell'innovazione informatica: i sistemi di disegno computerizzato (**CAD - Computer Aided Design**) e i database relazionali (**DBMS - Data Base Management System**)

Il primo sistema ha permesso il disegno computerizzato delle entità geografiche, il secondo l'immagazzinamento dei dati e delle informazioni legate a queste entità

I GIS permettono di analizzare una entità geografica sia per la sua completa natura geometrica (e simbolica) sia per il suo totale contenuto informativo

In pratica questi sistemi realizzano attraverso l'ingegneria del software un legame tra ogni entità geografica di una carta e uno o più record di un database

La specificità dei GIS

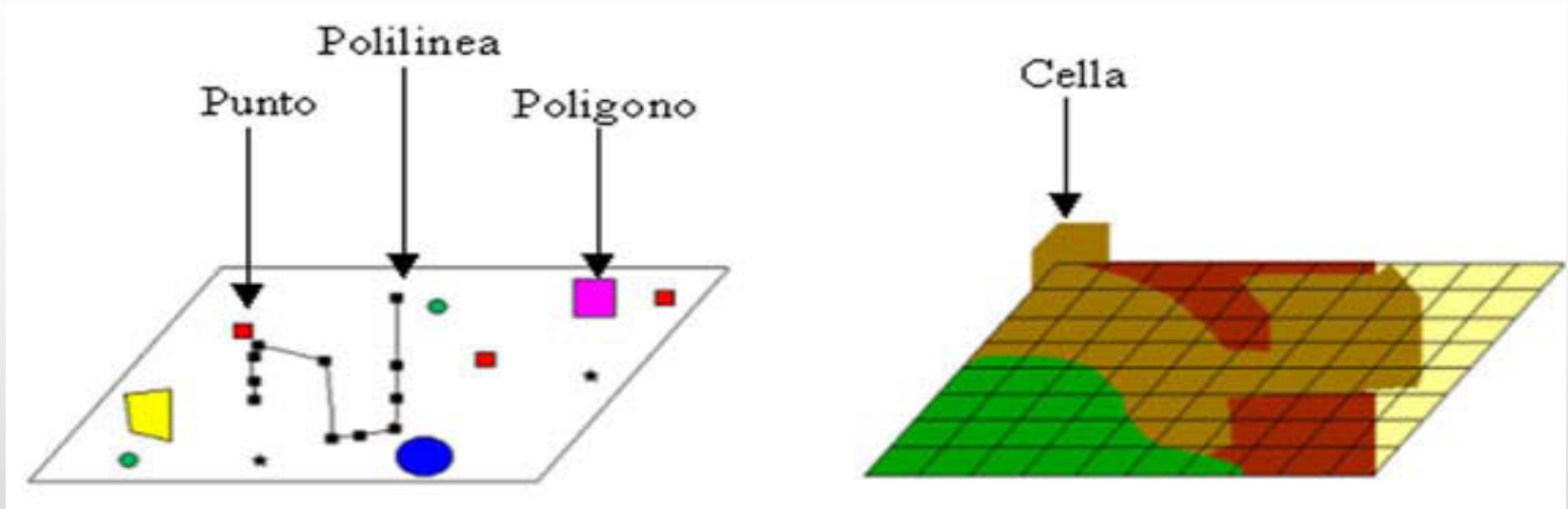
La fondamentale caratteristica degli strumenti GIS è quella di consentire una gestione contestuale delle due componenti del dato geografico:

- **la componente geometrica/spaziale**
(linee, punti, poligoni, aree..)
- **la componente descrittiva**
(testi, indici, immagini..)



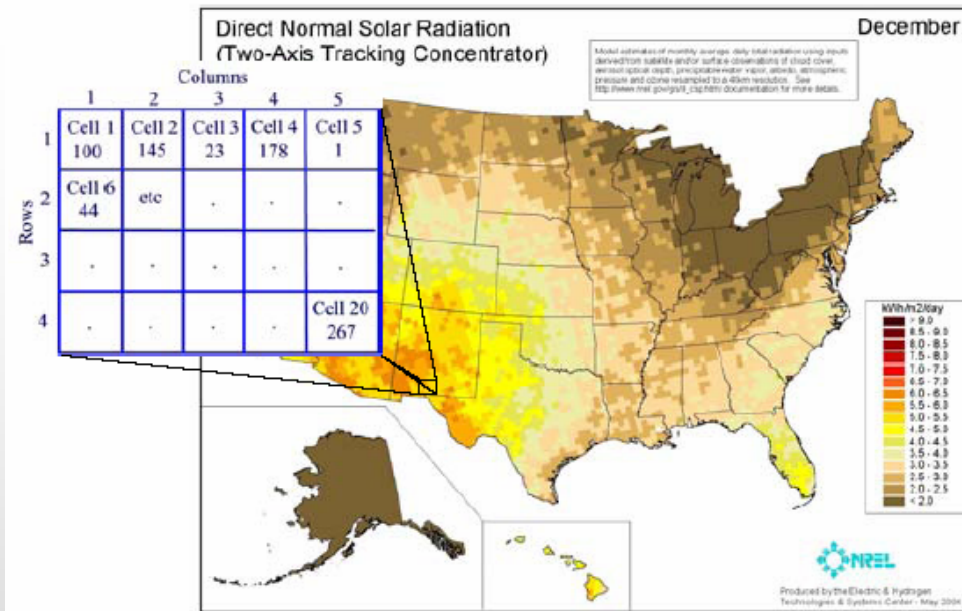
Struttura ipotetica di un laboratorio GIS

I MODELLI DI DATI UTILIZZATI DAI GIS

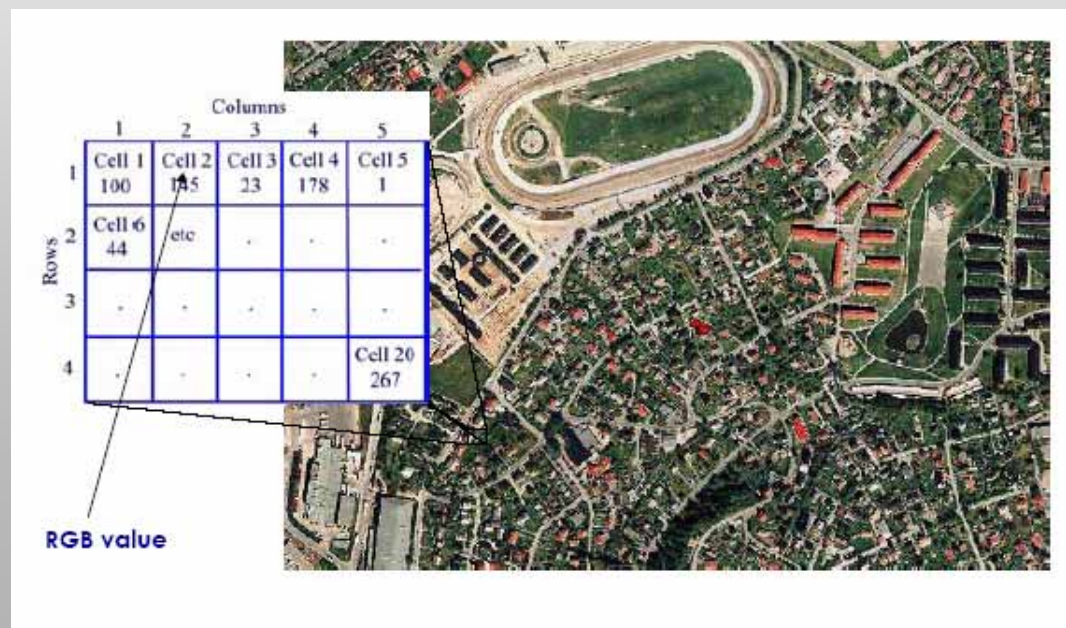


Esempio di un modello dati vettoriale in cui sono rappresentati punti (di forma e stile diverso), polilinee e poligoni. Ogni record contenuto nella banca dati è collegato ad uno di questi oggetti grafici.

Esempio di un modello dati raster, in cui l'unità di base è rappresentata da una cella di forma regolare. In questo caso il record della banca dati è collegato alla singola cella.



ESEMPI DI MAPPE RASTER



Mappa RASTER o a superfici continue

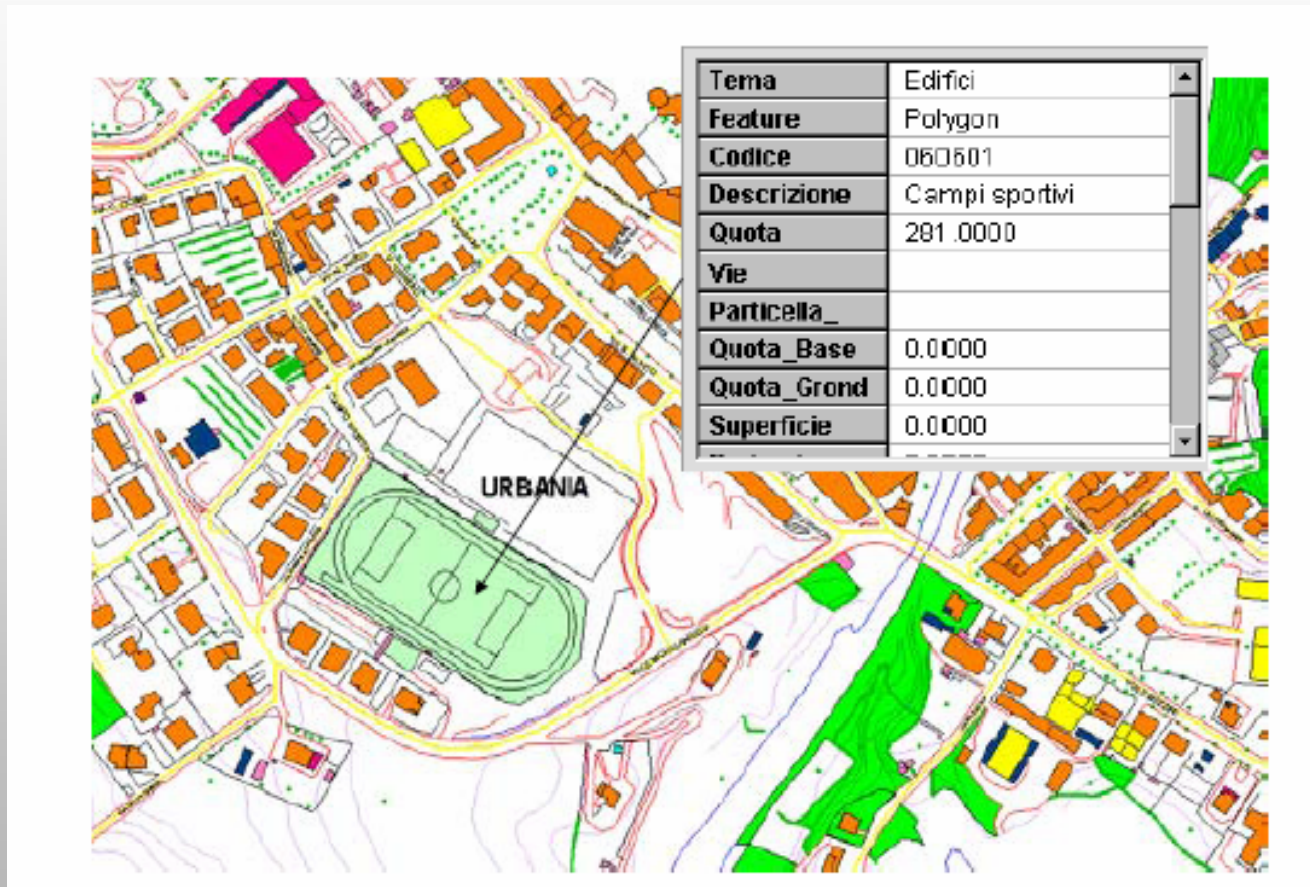
VANTAGGI

- È adatta per dati che cambiano con continuità nello spazio
- È rappresentata come una matrice rettangolare di numeri (un valore per ogni cella o pixel)
- Grande facilità di gestione e di manipolazione: possibilità di effettuare sovrapposizioni tra immagini raster diverse
- Facilità di acquisizione e riproduzione

SVANTAGGI

- Per avere una buona definizione delle informazioni occorre creare raster con molti pixel, con grande occupazione di memoria (esempio: cella con valori da 1 a 255, 1 pixel = 1byte, Area di 100x100km con risoluzione di 10m = 10.000x10.000pixel = **100 MB**). Si usano tecniche di compressione quali RLE, JPEG, ecc...)
- Limitata scalabilità (non posso cambiare scala o zoomare a piacere in quanto il dettaglio dell'informazione contenuta è limitato)
- Lentezza di elaborazione
- Memorizzazione di una sola variabile (o attributo)

ESEMPIO DI MAPPA VETTORIALE



Mappa VETTORIALE o a oggetti

Rappresenta le informazioni territoriali con i 3 elementi:
PUNTI, LINEE, POLIGONI

Ogni elemento (o **FEATURE**) è caratterizzato dalle sue coordinate geografiche

PUNTO (o NODO) = (x,y)

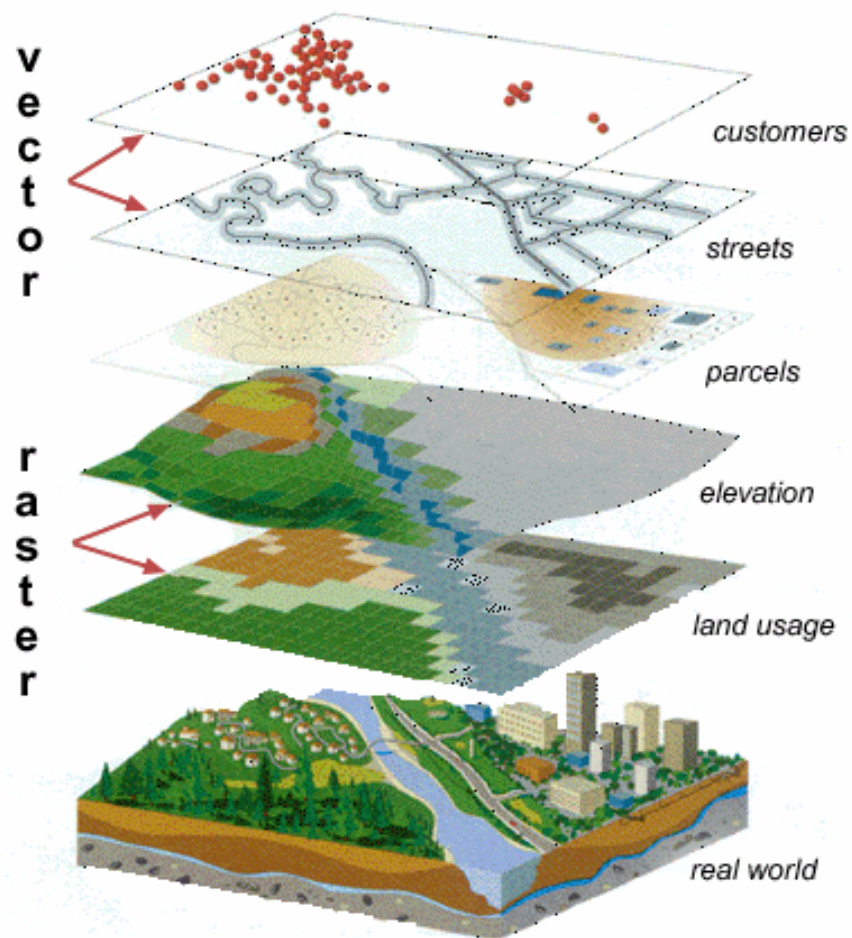
LINEA (o ARCO) = $(x_1,y_1), (x_2,y_2), \dots, (x_n,y_n)$

POLIGONO = ARCO che si chiude su se stesso e definisce un'area chiusa

Permette una scalabilità completa senza perdita delle informazioni
Permette la gestione degli **ATTRIBUTI** (=informazioni alfanumeriche):
1 record associato ad ogni feature
Permette la vestizione grafica (colori, simboli, spessori, riempimenti,...) in funzione dei valori degli attributi

Nel modello dei dati di un GIS, oggi i dati vettoriali e i dati raster coesistono e si integrano a vicenda, e sono generalmente usati i primi per dati discreti e i secondi per dati continui (*ad esempio rete viaria vettoriale derivata dalla **cartografia** per i primi e umidità al suolo derivata da immagini da satellite per i secondi*). Inoltre sono disponibili programmi in grado di convertire in modo più o meno automatico dati raster in vettoriali e viceversa.

Entrambi i tipi di dati possono essere associati ad **attributi**: per i primi saranno legati alle primitive grafiche e agli oggetti, per i secondi ai singoli pixel.



Georeferenziazione - Georiferimento

In un GIS i dati vengono archiviati su base territoriale e devono essere quindi GEOREFENZATI (GEORIFERITI), ovvero gli elementi geografici devono avere le loro coordinate spaziali reali. In altre parole, le coordinate di un oggetto non sono memorizzate relativamente ad un sistema di riferimento arbitrario (ad esempio 12 centimetri dal bordo inferiore e 5 da quello sinistro di una mappa), né relativamente al sistema di coordinate della periferica usata, come la tavoletta digitalizzatrice o il video, ma sono memorizzate secondo le coordinate del sistema di riferimento in cui realmente è situato l'oggetto (longitudine e latitudine secondo un sistema geografico, X e Y secondo un sistema cartesiano) e nelle reali dimensioni, non in scala (DeMers, 1997)

GEOREFENZIANE un file (o un qualsiasi dato geografico) significa inquadrarlo in un assegnato datum e sistema cartografico

Le mappe vector sono georeferenziate “internamente” dal sistema di coordinate impiegato, che spesso coincide con un sistema cartografico (ad es. Gauss-Boaga per le C.T.R.)

Ai files raster della cartografia è necessario associare un file di georeferenziazione che permetta di passare dal sistema interno ($X = n.$ colonna, $Y = n.$ riga) al sistema cartografico (Est, Nord)

I formati raster specifici per la cartografia (GeoTIFF, ERDAS, ...) contengono tali dati nello header (testata) del file

Esempio di file di georeferenziazione per il software ArcView ("world file")

42.300	dimensione pixel in direzione E
0.000	rotazione per le righe
0.000	rotazione per le colonne
-42.800	dimensione pixel in direzione N
2262860.000	coordinata E del pixel (1,1)
4839940.000	coordinata N del pixel (1,1)

GIS inter-site

I GIS inter-site consentono l'investigazione di territori e sistemi insediativi a macro-scala.

La creazione di un GIS di questo tipo prevede:

una fase preliminare, dedicata alla raccolta dei dati già esistenti, quali fonti cartografiche, d'archivio, fotografie aeree, immagini satellitari, cartografia storica;

una fase redazionale, che prevede la creazione di database alfanumerici che colleghino determinati attributi ad oggetti spazialmente noti;

una fase d'indagine, tramite query, interrogazioni e analisi spaziali, che consenta un incremento delle informazioni e la creazione di modelli predittivi.

GIS intra-site

La complessità di uno scavo archeologico e il fatto che si tratti di un evento distruttivo, pertanto non riproducibile, fa sorgere la necessità di creare, contestualmente all'attività archeologica, un archivio digitale per la gestione spaziale di tutti i dati. La riproducibilità delle fasi di scavo e la visibilità dei rapporti stratigrafici sono essenziali ai fini di una corretta interpretazione dei dati. I GIS intra-site, o GIS di scavo, consentono la visualizzazione e interrogazione comparata delle varie tipologie di dati per ricostruire e interpretare tutte le fasi di indagine.

Avvalendosi di software specifici è possibile ricostruire virtualmente ciascuna fase della ricerca. Questa metodologie consente da un lato di estrarre informazioni oggettive e prive di interpretazioni aprioristiche che possano influenzare le successive fasi di lavoro, dall'altro di riprodurre fase per fase l'attività di scavo a scopo informativo e didattico.

Il modello dei dati nei GIS

A differenza di un CAD che rappresenta la realtà in modo puramente geometrico, un GIS mantiene e gestisce tutte le informazioni che riguardano le mutue relazioni spaziali tra i diversi elementi, come la connessione, l'adiacenza o l'inclusione, cioè struttura i dati definendone anche la **topologia**

Oltre a questi due aspetti geometrico e topologico, il modello dei dati, per essere efficace, deve prevedere l'inserimento al suo interno dei dati descrittivi dei singoli oggetti reali, definibili come **attributi**

Questi tre insiemi di informazioni (geometria, topologia, attributi) vengono poi effettivamente implementati in un GIS mediante uno specifico modello fisico, che oggi si basa su strutture dei dati di tipo relazionale, tipiche dei **database** più evoluti

Database

per database (base dati, banca dati o archivio) si intende un insieme di informazioni di diverso tipo. Questi dati sono organizzati secondo criteri ben precisi che permettono una rapida consultazione

Attributo

informazione descrittiva associata ad un oggetto geografico e che lo caratterizza. Generalmente nei GIS indica le caratteristiche non grafiche dell'elemento o quelle grafiche non rappresentabili nella scala d'acquisizione. Ad esempio potrebbero essere attributi di un elemento lineare (arco): la larghezza, la lunghezza, ecc

Tabella di attributi

Le tabelle sono una parte integrante dello strato informativo. Ogni tabella è relativa ad un gruppo omogeneo di elementi geografici della carta (le strade, i fiumi, le curve di livello, ecc.) ed è costituita da un numero variabile di righe e colonne. Ogni riga (record) contiene la descrizione di un singolo elemento geografico ed ogni colonna (campo o attributo) memorizza uno specifico tipo di informazione. Le caratteristiche degli elementi geografici sono generalmente tradotte in codici numerici o alfabetici, prima di essere inserite nella relativa tabella

Topologia

La topologia è un insieme di regole per definire in maniera esplicita le relazioni, i rapporti di connessione e di continuità tra gli elementi spaziali e per collegare tali elementi alle relative descrizioni (attributi). In un modello dati topologico, ad esempio, è possibile riconoscere le aree contigue e identificare le linee che delimitano ciascuna superficie (confini)

Topologia

RASTER
adiacenza
(celle)

VETTORIALE
connettività
adiacenza
contenimento

Arco (*linea*) = elemento lineare archiviato in formato vettoriale costituito da:

- una coppia di coordinate d'inizio (nodo (*punto*) iniziale),
- una coppia di coordinate finali (nodo finale)
- una serie di coppie intermedie (vertici).

Ogni arco ha una direzione ed una lunghezza e questo definisce una destra e una sinistra

Connessione = condivisione di un nodo tra due archi

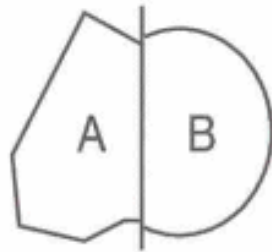
Adiacenza = condivisione di un arco tra due aree

Contenimento = un poligono può contenere un altro come isola

TOPOLOGY

SPATIAL RELATIONSHIPS

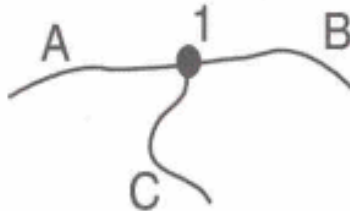
CHAIN 1



LEFT POLY = A

RIGHT POLY = B

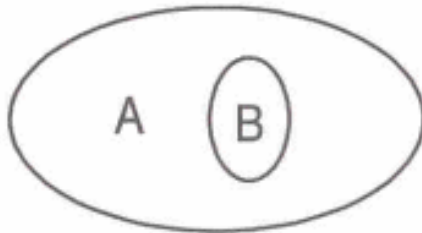
ADJACENCY



NODE 1 = CHAINS A, B, C

CHAIN A IS CONNECTED
TO CHAINS B and C

CONNECTIVITY



POLY B CONTAINED
WITHIN POLY A

CONTAINMENT

Mappe tridimensionali - Modello altimetrico digitale

Un **Modello Digitale di Elevazione (DEM - *Digital Elevation Model*, DSM - *Digital Surface Model*)** è la rappresentazione della distribuzione delle quote di una certa superficie, in formato digitale. Occorre specificare quale sia la superficie rappresentata: ad esempio DEM della superficie della vegetazione, DEM della superficie delle acque, DEM della superficie del suolo terrestre, etc.

Quando ci si riferisce alla superficie del suolo terrestre, si parla di **Modello Digitale del Terreno (DTM - *Digital Terrain Model*)**. Un DTM quindi è un tipo particolare di DEM.

DTM e DEM descrivono una superficie mediante un insieme finito di punti dotati di coordinate (x, y, z) nello spazio.

I punti originali di solito risultano spazati in maniera irregolare e ciò dipende dalla tecnica utilizzata per le misurazioni.

DEM a maglie quadrate uguali (GRID)

L'insieme dei punti originali, irregolarmente distribuiti, viene trasformato in una griglia regolare (a maglie quadrate uguali), impiegando tecniche di interpolazione spaziale (ad es. kriging)

Nel DEM/DTM risultante ciascuna tripletta (x, y, z) interpolata rappresenta un quadrato della griglia chiamato anche cella

Un file DEM di questo tipo si presta ad essere visualizzato in due dimensioni mediante un'immagine raster (ad es. bmp, tif) assegnando a ciascun pixel dell'immagine un colore corrispondente all'elevazione media della corrispondente cella del DEM. Il formato raster è diventato il modo più diffuso per memorizzare un GRID DEM

DEM a maglie triangolari irregolari (TIN)

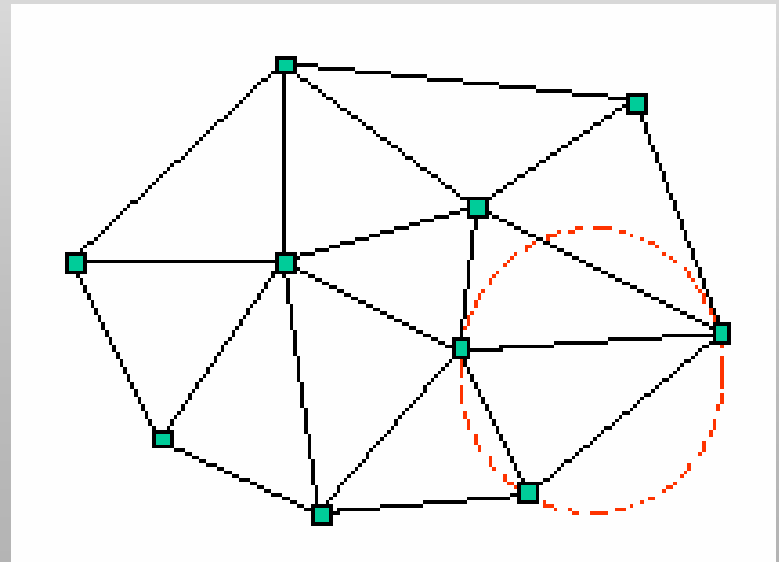
È anche possibile produrre modelli costituiti da un insieme punti quotati collegati da segmenti a formare una **rete continua di triangoli**

La scelta dei punti significativi può basarsi su vari metodi, così come il collegamento dei punti può avvenire secondo vari criteri (ad es. criterio di Delaunay) che assicurino la continuità della superficie

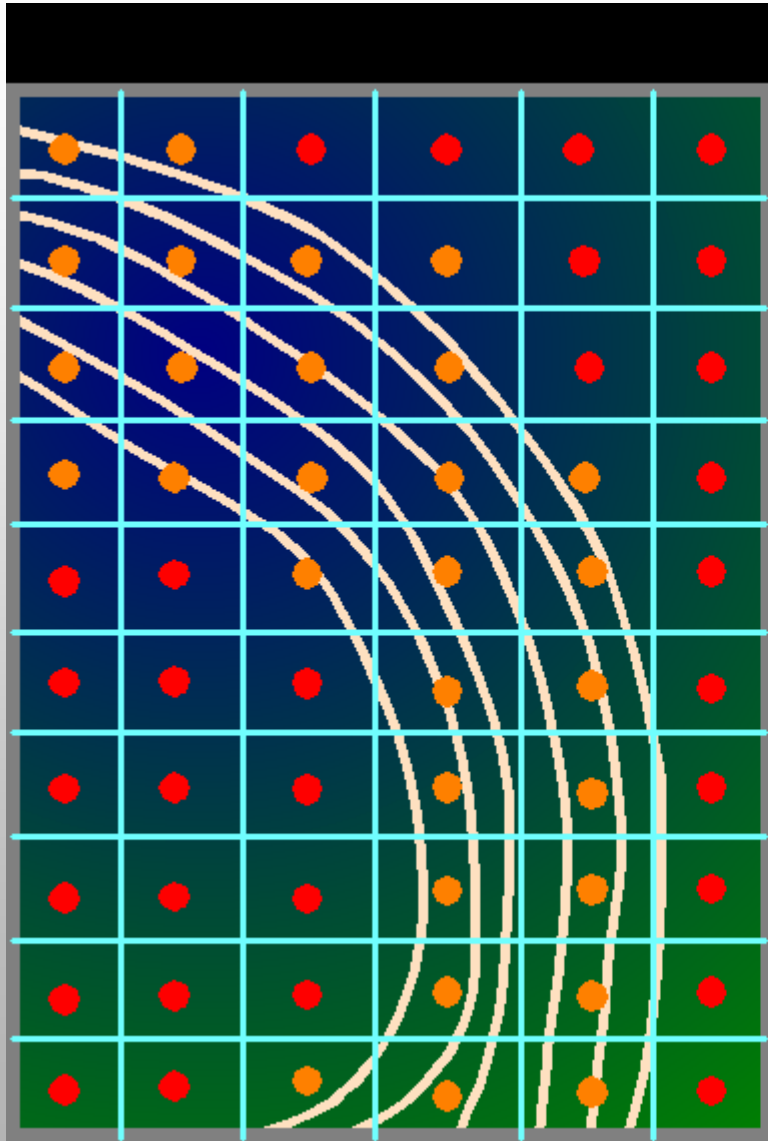
La superficie di ogni triangolo è definita dall'elevazione dei suoi tre vertici ed in genere è assunta piana. In questo caso il modello digitale di elevazione prende il nome di **TIN** (*Triangulated Irregular Network*)

Modello altimetrico digitale di tipo TIN

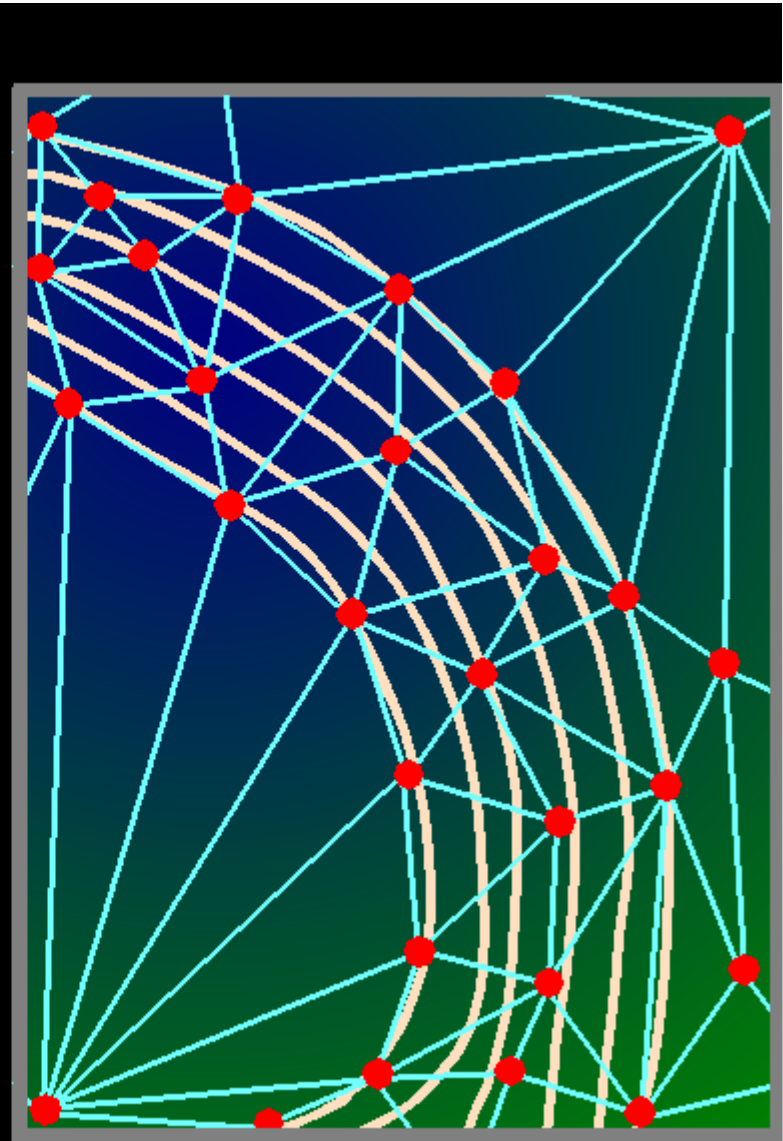
Viene costruita una TRIANGOLAZIONE (= insieme di triangoli che coprono l'intera area di interesse senza sovrapporsi) che rappresenta in maniera compatta l'andamento della superficie 3D
Il TIN viene costruito rispettando la “**REGOLA DI DELAUNAY**”: il cerchio che passa per i 3 vertici di un triangolo NON contiene alcun altro vertice (significa che i triangoli sono il più possibile “vicini” ad essere equilateri)



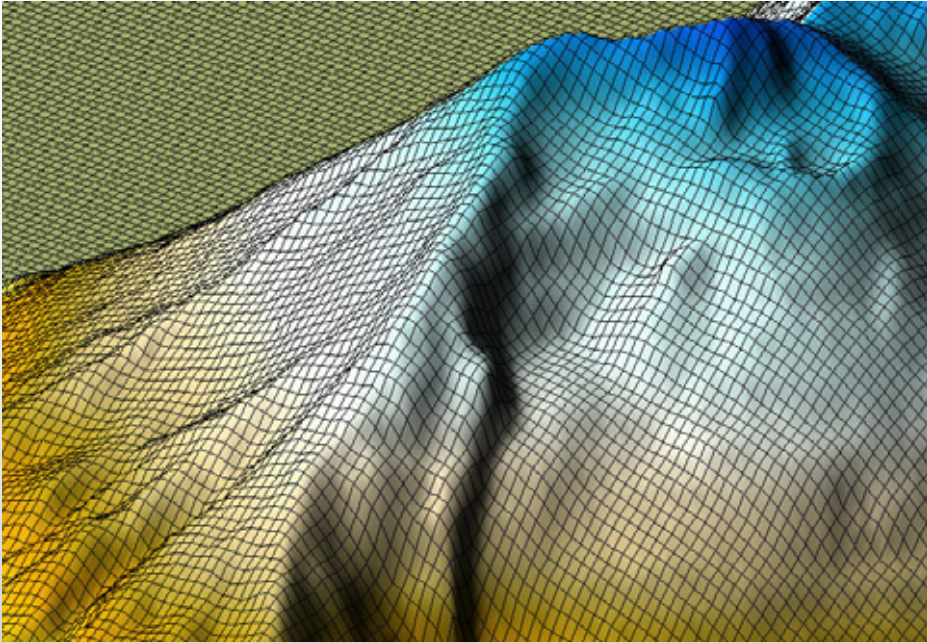
modello GRID



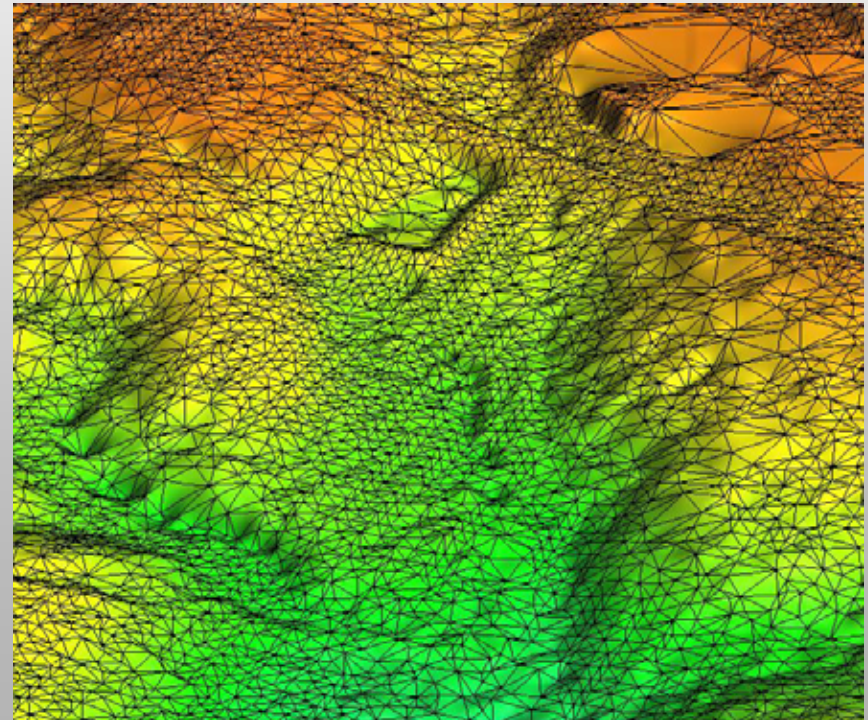
Modello TIN



Modello GRID



Modello TIN



I DTM possono essere ottenuti:

da rilievi a terra eseguiti con strumenti topografici e/o GPS

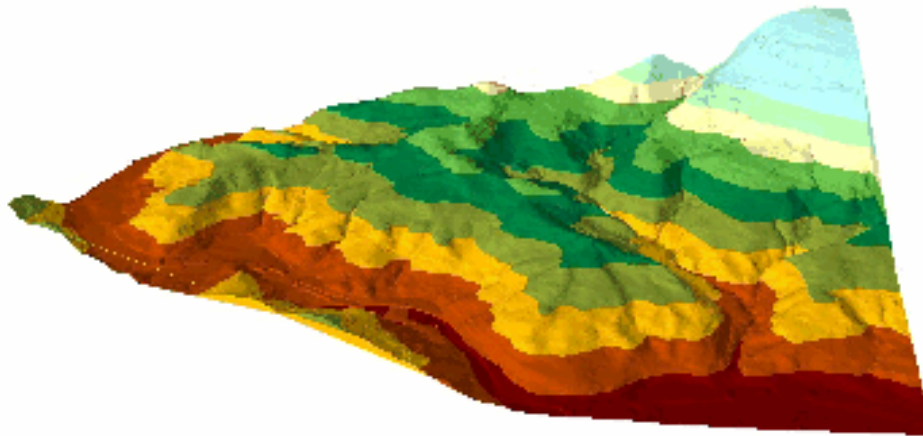
da cartografia esistente mediante digitalizzazione delle curve di livello e punti quotati

da fotogrammi aerei stereoscopici orientati, anche in modo automatico (mediante autocorrelazione: software Orthoengine PCI, ...) . Ottenuto il DTM, la generazione della ortofotocarta digitale è quasi immediata

da rilevamenti laser-scanning

da telerilevamento (SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission)

Esistono DTM a maglia larga di pubblico dominio per tutto il mondo (GTOPO30 con maglia di 30” pari a circa 900 m, ...), quelli di maggior densità vanno acquistati o autoprodotti



Visualizzazione del
DTM di una stessa
area in ambiente
3D ESRI®
ArcScene tramite
TIN (sopra) e
tramite Grid (sotto).

VANTAGGI E SVANTAGGI DEI MODELLI TIN E GRID

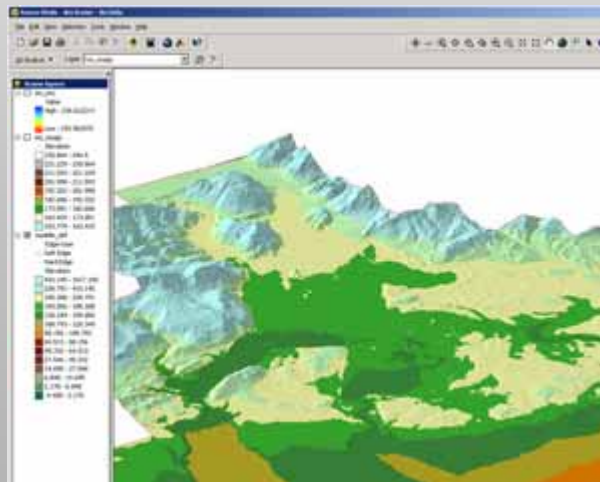
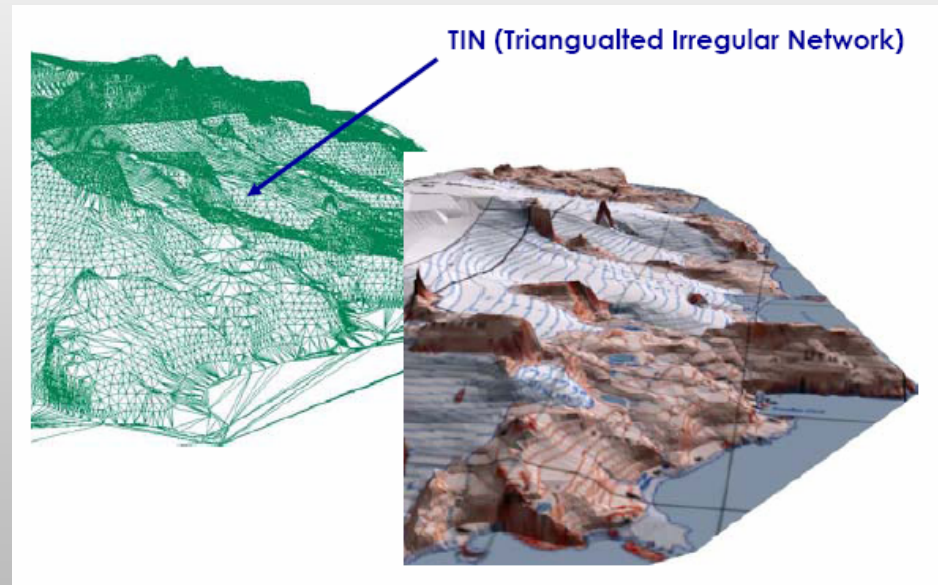
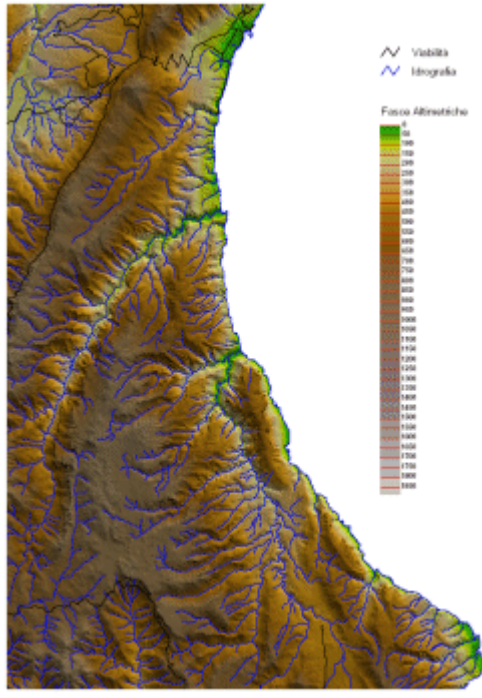
Il modello TIN consente di rappresentare la superficie vera con meno punti rispetto al modello GRID. Infatti la densità dei punti può essere adattata al livello di complessità locale della superficie: più punti per i terreni accidentati, meno punti per i terreni con pendenze che variano dolcemente

Il formato GRID non è adattabile, tende a semplificare troppo le superfici montuose e a rappresentare con sovrabbondante numero di punti quelle pianeggianti

I triangoli irregolari si prestano molto meglio delle maglie quadrate uguali a rappresentare aree ove le pendenze variano bruscamente o risultano particolarmente elevate. In aree come queste i lati del TIN possono allinearsi esattamente con le linee che segnano discontinuità di pendenza

Ciò nonostante il formato GRID è molto più utilizzato del formato TIN per via della struttura più semplice e "pronta all'uso" per le operazioni GIS. È più semplice da manipolare, analizzare ed integrare con altri dati GIS, specialmente nelle applicazioni di Analisi Digitale del Terreno

ESEMPI DI MAPPE TRIDIMENSIONALI



Quindi il GIS è *un sistema informativo che permette di trattare e analizzare dati spaziali.*

I dati all'interno del GIS sono organizzati in strati informativi (temi, tematismi, coverage, layer), cioè insiemi di primitive che descrivono (modellano) uno specifico fenomeno reale.

Possiamo riassumere le caratteristiche del sistema nel modo seguente:

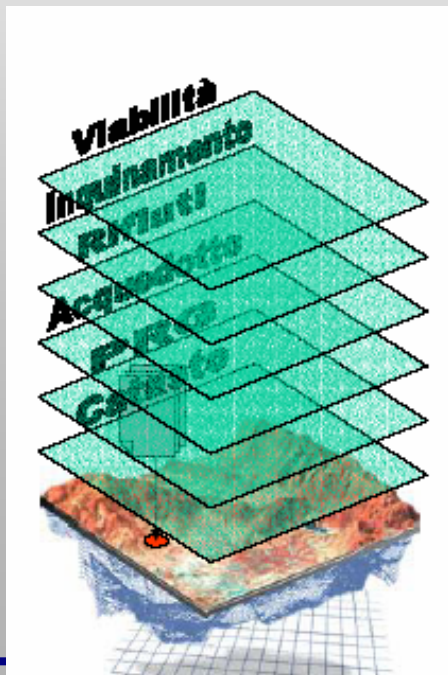
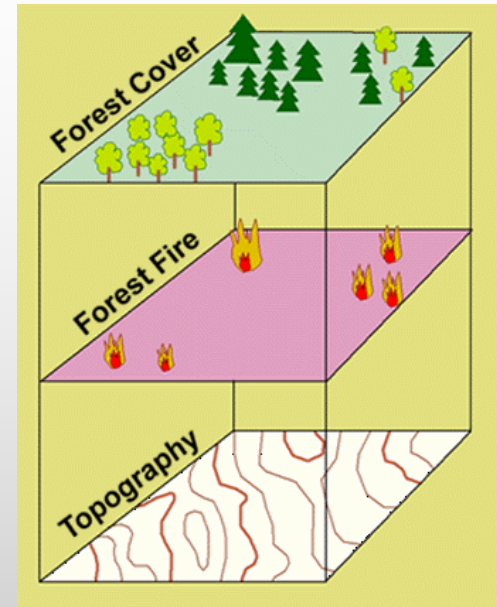
- Uno strato informativo contiene entità omogenee.
- Un'entità può appartenere ad un solo strato informativo.
- L'unione di tutti i possibili strati informativi rappresenta in modo completo il mondo reale

Esempi di strati informativi:

- idrologia
- uso del suolo
- infrastrutture,...

Generazione della carta in un GIS (cartografia tematica)

- La carta è creata sovrapponendo vari strati cartografici (strati informativi o layers)
- Ciascuno strato rappresenterà un “tema”



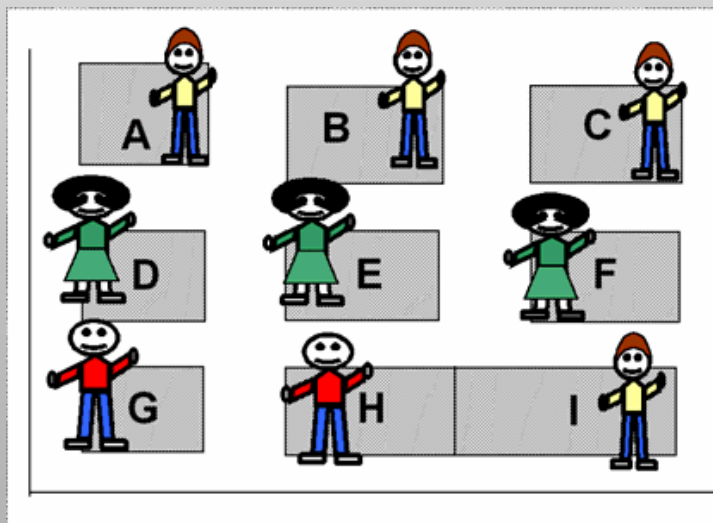
I vari strati informativi hanno la caratteristica di essere georeferenziati (georiferiti) e attribuiscono informazioni diverse ad ogni punto del territorio

ESEMPI DI MODELLIZZAZIONE DI DATI GEOGRAFICI

Esempio 1

Il Catasto vuole un sistema informativo che permetta di associare le proprietà catastali ai rispettivi proprietari. Le proprietà catastali sono oggetti o "fenomeni" spaziali georeferenziabili tramite indirizzo (posizionamento indiretto) o coordinate del perimetro (posizionamento diretto).

Il problema è di modellizzare tali dati geografici in modo da gestirli poi automaticamente con pacchetti software.



Stiamo considerando entità di tipo superficiale

Dobbiamo descrivere non solo le posizioni degli oggetti (particelle) ma anche le loro relazioni con altri oggetti (altre particelle, strade, proprietari,...)

Esempi di possibili interrogazioni

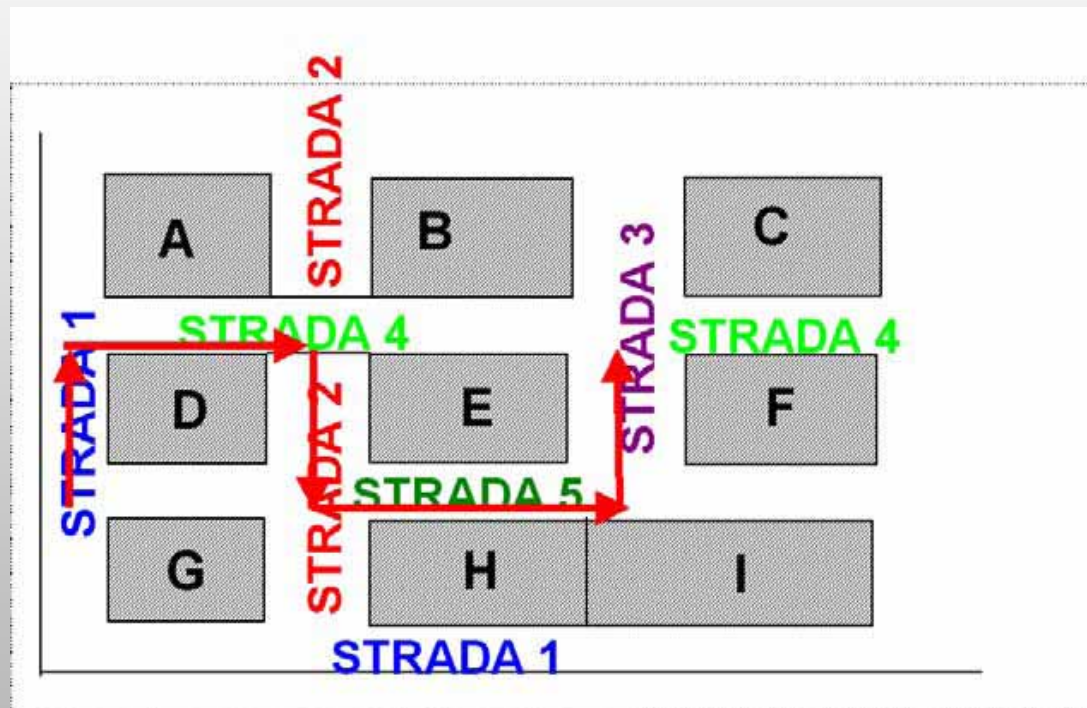
- Evidenziare tutte le particelle appartenenti al signor Rossi
- Dare gli indirizzi e le dimensioni superficiali di tutte le particelle appartenenti al signor Rossi
- Dare indirizzi e proprietari di tutte le particelle con dimensione maggiore di un certo valore
- Trovare tutte le particelle adiacenti alle particelle del signor Rossi
- Verificare se il signor Rossi e il signor Verdi hanno particelle confinanti
- Dare le dimensioni di tutte le particelle che si affacciano sulla strada "NomeStrada".

La pizzeria "Mimmo Pizza Express" consegna pizze a domicilio. Volendo ottimizzare i tempi richiesti per la consegna delle pizze intende dotarsi di un sistema informativo che consenta di dare il percorso ottimale da seguire in funzione dei clienti ai quali, in quell'orario, deve essere consegnata la pizza.



stiamo considerando entità di tipo lineare

la modellizzazione in questo caso si baserà sulla teoria dei grafi.



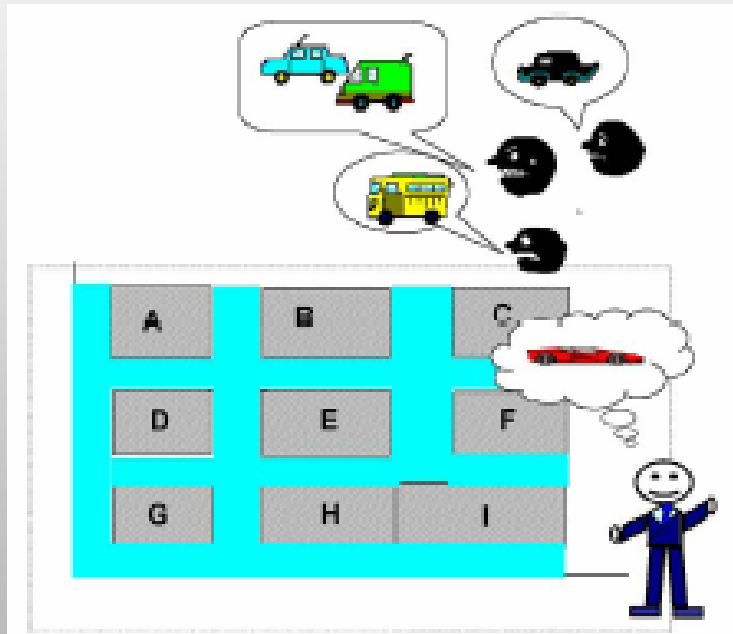
Esempi di possibili interrogazioni

- Trovare il percorso ottimale in termini di distanza
- Trovare il percorso ottimale in termini di distanza tenuto conto delle caratteristiche delle strade da percorrere (ad esempio presenza di salite, strade a senso unico, strade a traffico più intenso).
- Trovare il percorso ottimale in termini di tempo.

Problemi dello stesso tipo:

- Dato un incidente verificatosi nel punto A di una rete stradale, individuare da quale ospedale è preferibile far partire un'autoambulanza;
- Se una strada deve essere chiusa al traffico individuare i percorsi alternativi ottimali;
- Valutare la distribuzione di un inquinante in una rete idrica.

I cittadini si lamentano per il dissesto delle strade. Il sindaco deve valutare il costo dovuto alla risistemazione di parte o tutta la sede stradale.



In questo caso dovremo considerare non solo i percorsi, ma tutta la sede stradale

Le strade saranno quindi modellizzate con superfici e non con segmenti

QUERY o INTERROGAZIONE

Permette di visualizzare, sottoforma di output cartografico, alcune tra le informazioni immagazzinate nel database

Query per mezzo degli attributi

Query per mezzo della geometria

Query per attributi

Si può costruire una nuova carta sulla base di alcuni attributi degli oggetti presenti nella carta di partenza.

Questa query è possibile in quanto gli attributi sono immagazzinati nel database sotto forma di una tabella collegata in modo univoco ai diversi oggetti presenti nella carta.

Esempio di query:

- *Mostrami tutte le città che hanno densità di popolazione maggiore o uguale a 1000 abitanti per chilometro quadrato*
- *Mostrami tutte le selci che abbiano lunghezza inferiore a 3 cm e che si trovano a meno di 2.5m dal focolare*

Query geometrica

consiste nel mostrare gli attributi di oggetti cartografici, o fare una nuova carta con oggetti che sono stati selezionati utilizzando:

un punto

un rettangolo

un cerchio

una linea

un poligono

Esempio di query:

Costruisci una nuova carta con le sole selci che si trovano all'interno di un cerchio avente il centro nelle seguenti coordinate e raggio 3.87m

Funzionalità dei GIS – Analisi spaziale

Overlay topologico - si effettua una sovrapposizione tra gli elementi di due o più temi per creare un nuovo tematismo

Buffering - da un tema puntuale, lineare o poligonale viene definito un poligono di rispetto ad una distanza fissa o variabile in funzione degli attributi dell'elemento

Network Analysis - algoritmi che in una rete di elementi lineari determinano i percorsi minimi tra due punti

Segmentazione - algoritmi di solito applicati su temi lineari per determinare un punto ad una determinata lunghezza dall'inizio del tema

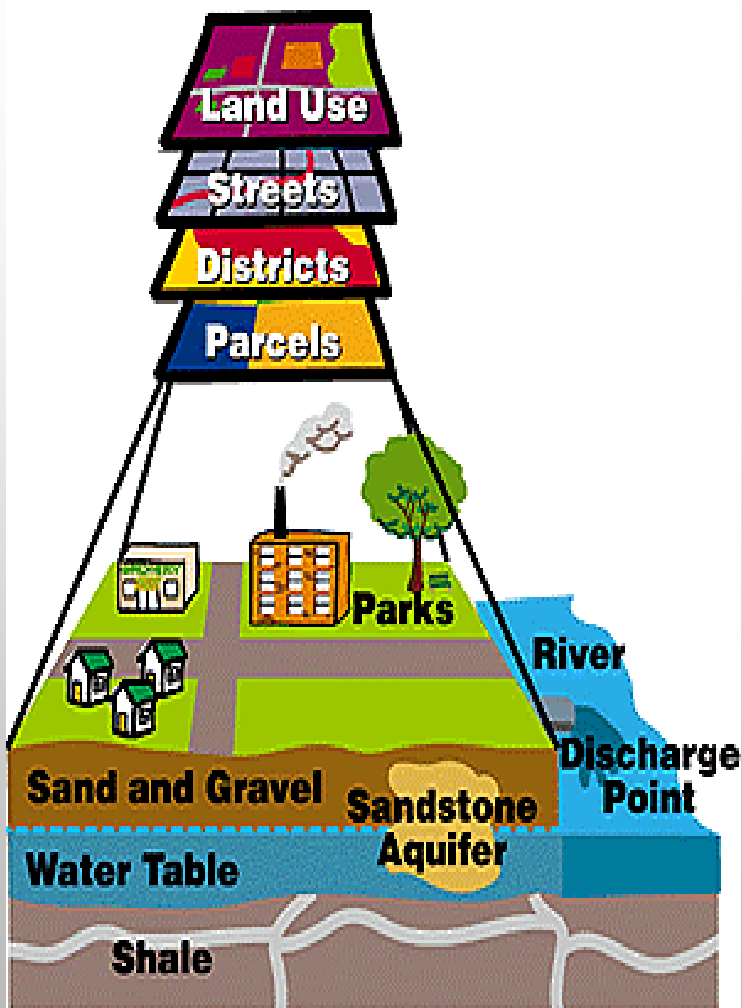
OVERLAY TOPOLOGICO

sovrapposizione di diversi strati informativi sia a livello cartografico che a livello degli attributi, che devono essere riportati da un livello informativo all'altro, in corrispondenza degli elementi corrispondenti

punti su poligoni

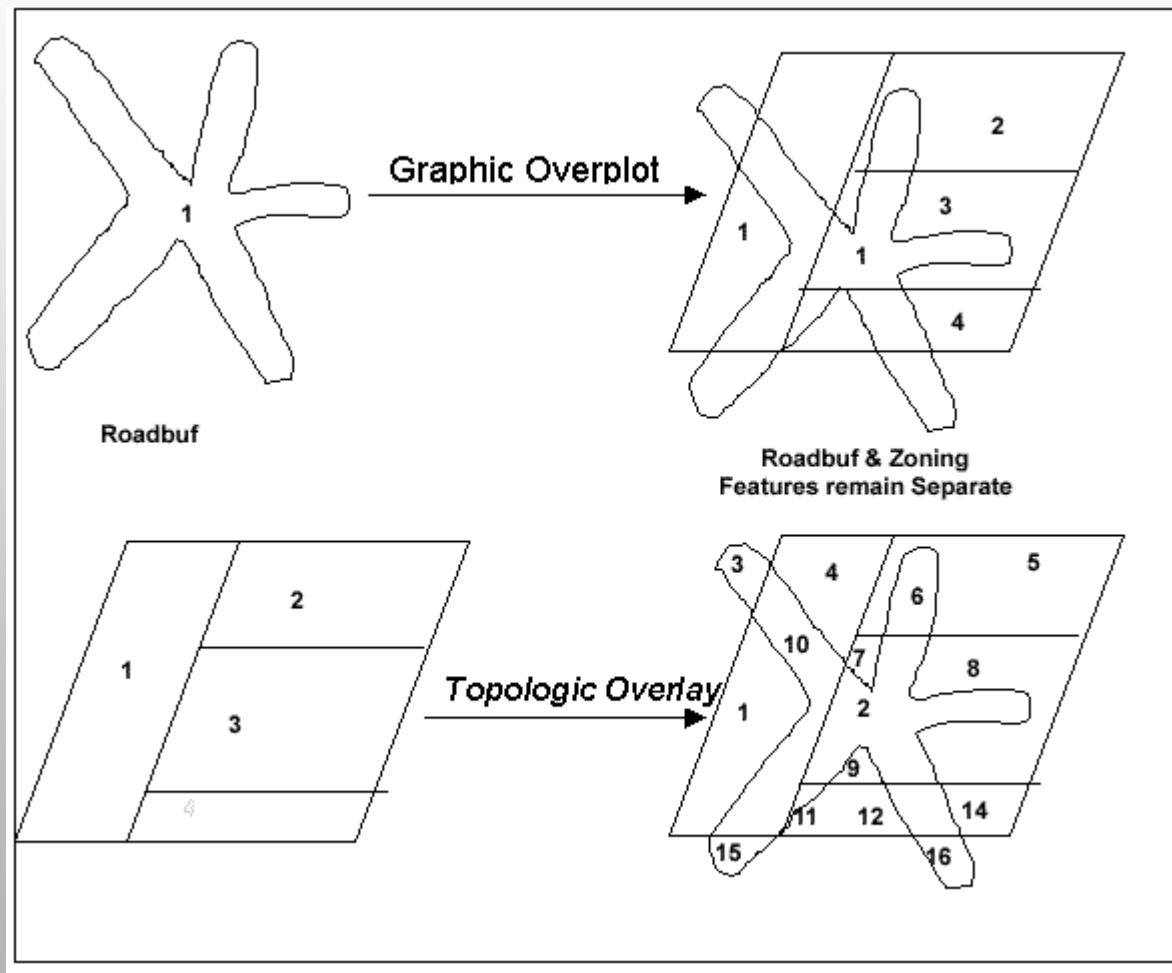
linee su poligoni

poligoni su poligoni



Se ad esempio prendiamo, come strato informativo poligonale, una carta dell'uso del suolo, mediante le funzioni di overlay possiamo attribuire la tipologia del suolo in cui cade ad esempio un traliccio elettrico (punto su poligono), un tratto di strada (linea su poligono), un fabbricato (poligono su poligono). Il nuovo livello informativo conterrà, oltre che tutti gli attributi rispettivamente del traliccio, della strada o del fabbricato, anche tutte le informazioni che sono associate alla carta poligonale dell'uso del suolo

Differenza tra una sovrapposizione grafica e un overlay topologico



OVERLAY TOPOLOGICO – OPERATORI BOOLEANI

AND (e) indica che due o più termini devono essere presenti contemporaneamente nel nuovo strato informativo

OR (o) indica che il nuovo strato informativo deve riportare la presenza di qualunque dei termini

NOT (non) indica termini che NON devono far parte del nuovo strato informativo

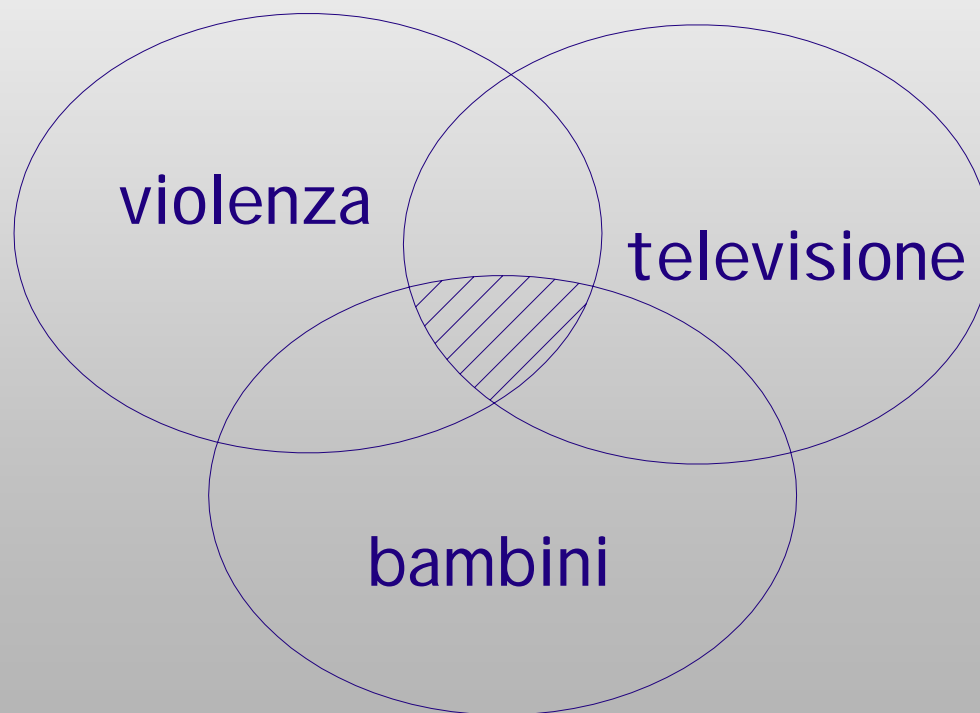
AND Due o più attributi devono essere tutte presenti

OR Deve essere presente almeno un attributo (ma anche tutti)

NOT Deve essere presente solo il primo, ma non il secondo attributo

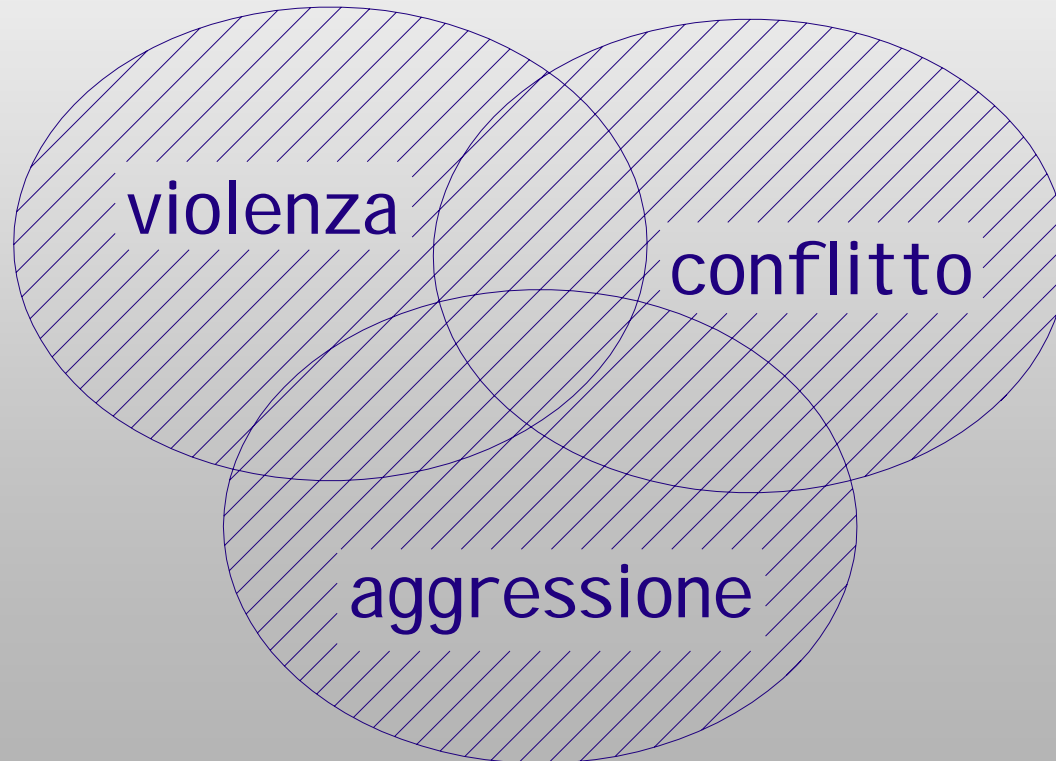
AND : esprime il prodotto logico, cioè l'intersezione tra due insiemi: si reperiscono articoli indicizzati con entrambi i termini di ricerca.

Es: La ricerca “violenza **AND** televisione **AND** bambini” fornirà come risultato l'elenco dei lavori contenente **tutte** le parole:



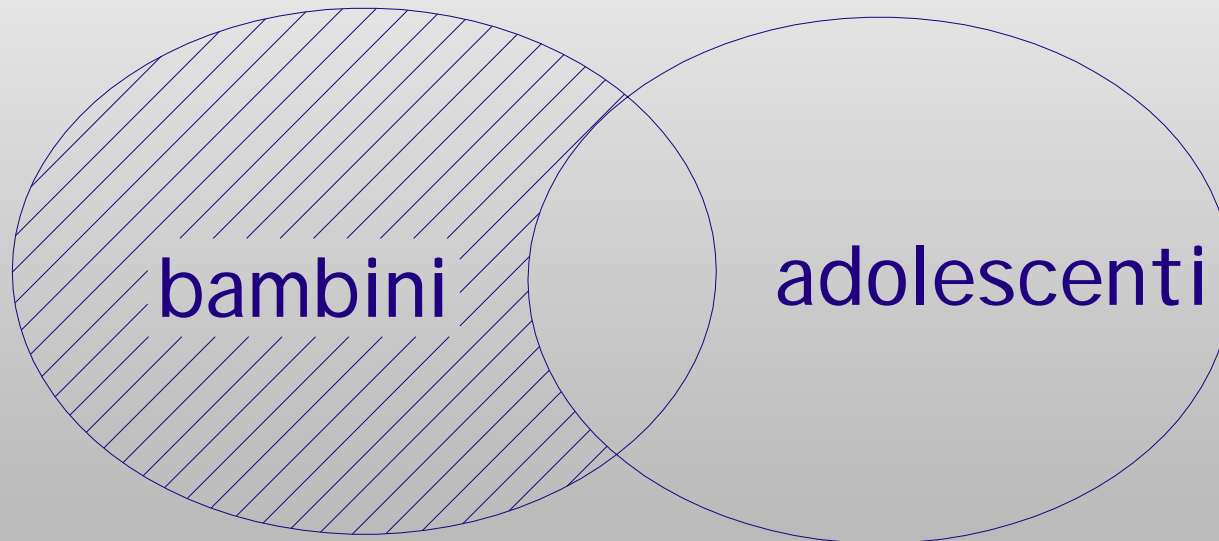
OR : esprime la somma logica : si reperiscono articoli indicizzati con almeno uno dei concetti indicati.

Es: La ricerca "violenza **OR** conflitto **OR** aggressione" fornirà come risultato l'elenco dei lavori contenenti almeno una delle tre parole



NOT esprime la differenza logica, cioè l'esclusione di un concetto.

Es: La ricerca “bambini **NOT** adolescenti” fornirà come risultato l'elenco dei valori contenuti solo la prima delle due parole, escludendo quelli che contengono la seconda.



OPERATORI LOGICI CONDIZIONALI

- = uguale
- <> non uguale
- < minore
- <= minore o uguale
- > maggiore
- >= maggiore o uguale

OVERLAY – MODELLO RASTER

Punto su poligono

-dove sono gli alberi nelle aree urbane?-

punti

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

aree

2	2	2	0	0
2	2	2	0	0
2	2	2	0	0
0	2	2	2	2
0	0	2	2	2

risultato

2	2	2	0	0
2	2	2	0	1
2	3	2	0	0
0	2	2	3	2
1	0	2	3	2

0 – non albero
1 - albero

0 – non città
2 - città

0 – non città, non albero
1 – non città, albero
2 – città, non albero
3 – città, albero

OVERLAY – MODELLO RASTER

Punto su poligono

-dove sono gli alberi nelle aree urbane?-

2	2	2	0	0
2	2	2	0	1
2	3	2	0	0
0	2	2	3	2
1	0	2	3	2

riclassifica



$< 3 = 0$

$3 = 1$

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

0 – non città, non albero

1 – non città, albero

2 – città, non albero

3 – città, albero

0 – albero non in città

1 – albero in città

OVERLAY – MODELLO RASTER

Map algebra:

- Si possono usare tutte le operazioni algebriche
- Si possono pesare gli strati informativi
- Si può sovrapporre contemporaneamente un numero qualsiasi di strati informativi

OVERLAY – MODELLO VECTOR

Punto su poligono

-dove sono gli alberi nelle aree urbane?-

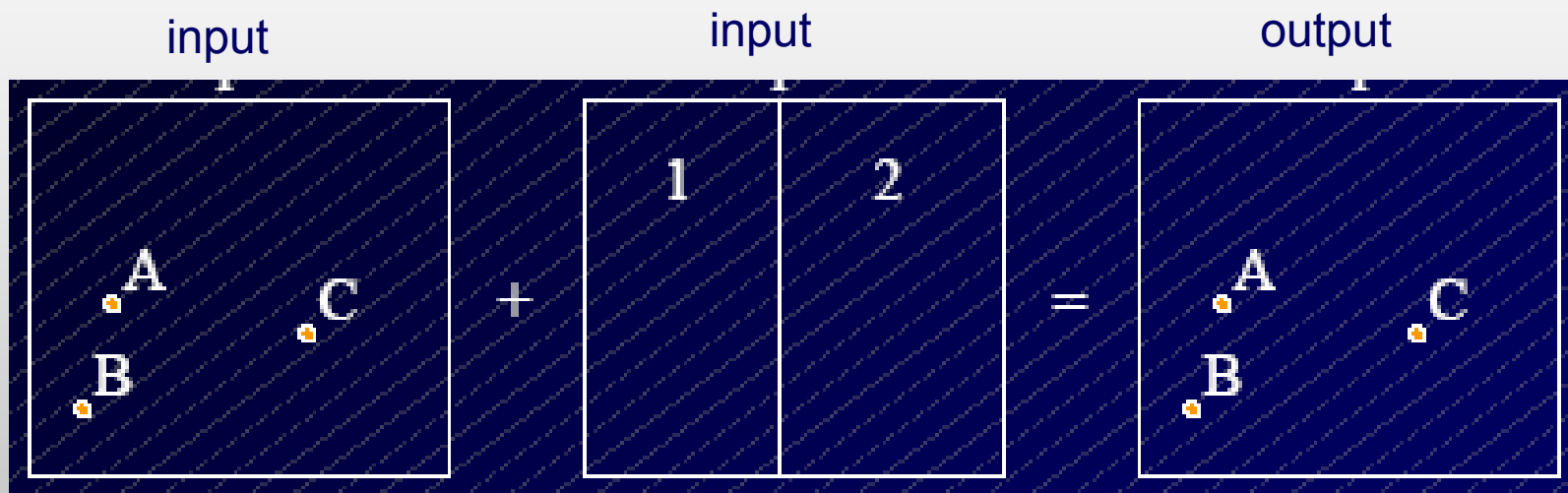


Tabella dei punti

Tabella dei poligoni

Tabella dei punti

ID ALBERO

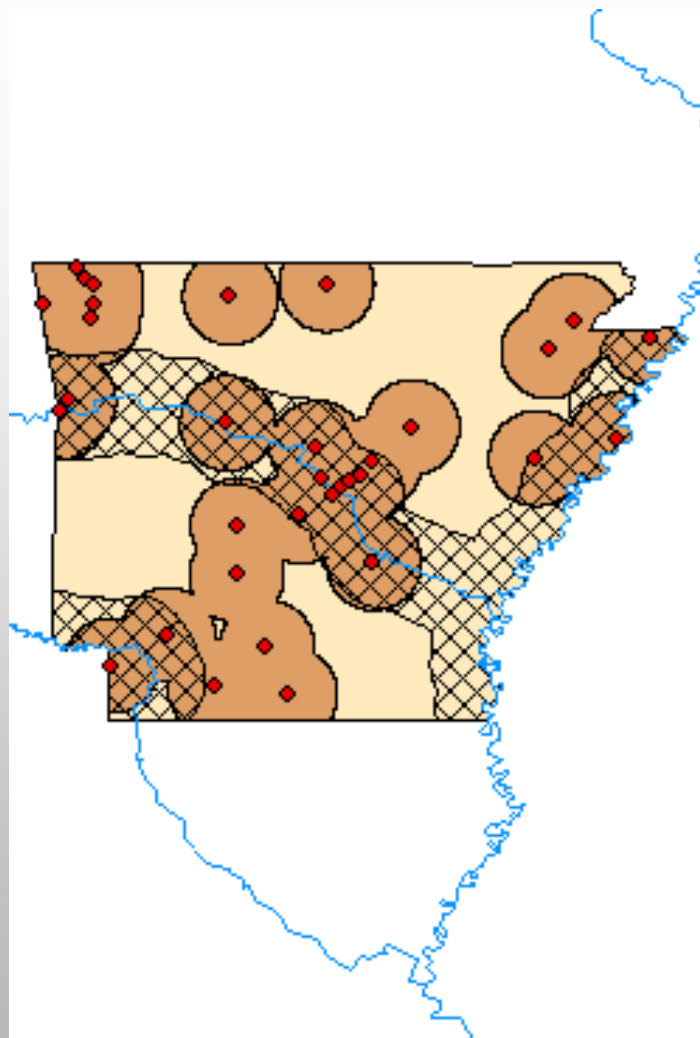
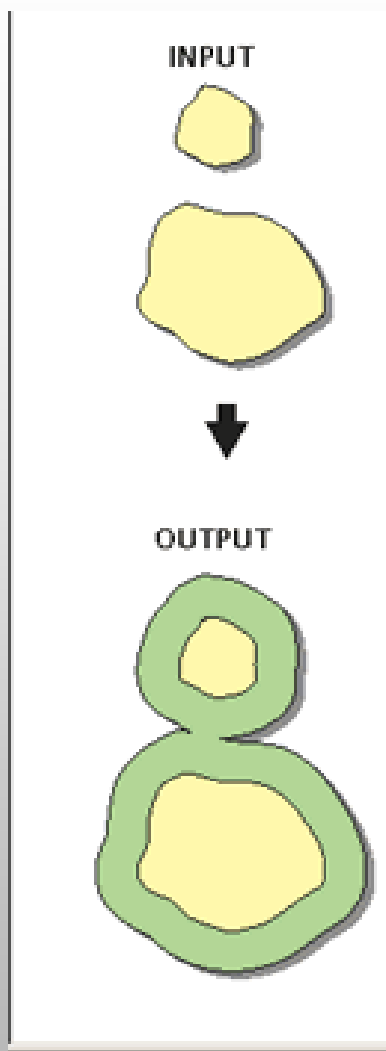
A olmo
B acero
C olmo

ID COPERTURA

1 campagna
2 città

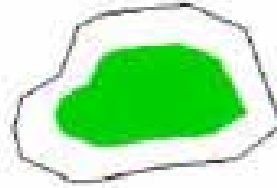
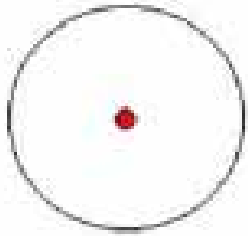
ID ALBERO COPERTURA

A olmo campagna
B acero campagna
C olmo città



BUFFERING

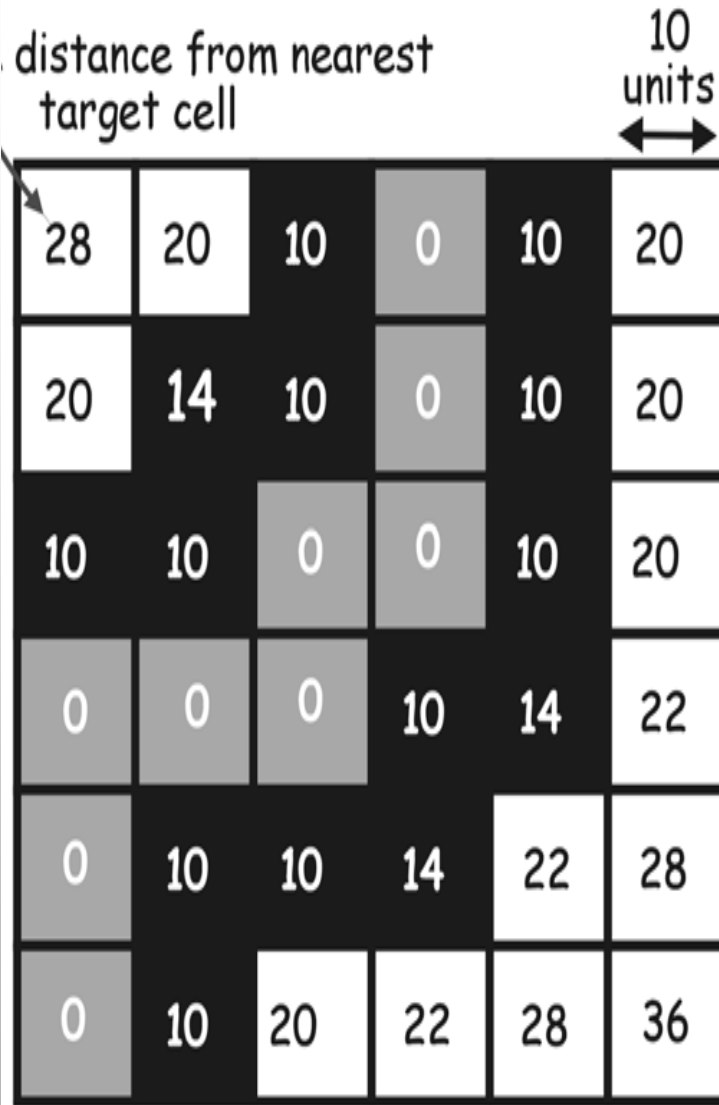
creazione attorno a elementi indicati (punti, linee e poligoni) di aree i cui punti distano meno di un determinato valore massimo indicato dall'utente



BUFFERING

In pratica, intorno ad un oggetto (sia esso puntuale, lineare o poligonale) la funzione genera, sulla base di una distanza predefinita, un'area poligonale, i punti del cui perimetro siano tutti equidistanti dall'oggetto: intorno ad un punto genererà un cerchio; intorno ad una linea un'area che avrà il perimetro parallelo alla linea stessa; intorno ad un poligono un'area chiusa con un perimetro parallelo al perimetro del poligono stesso.

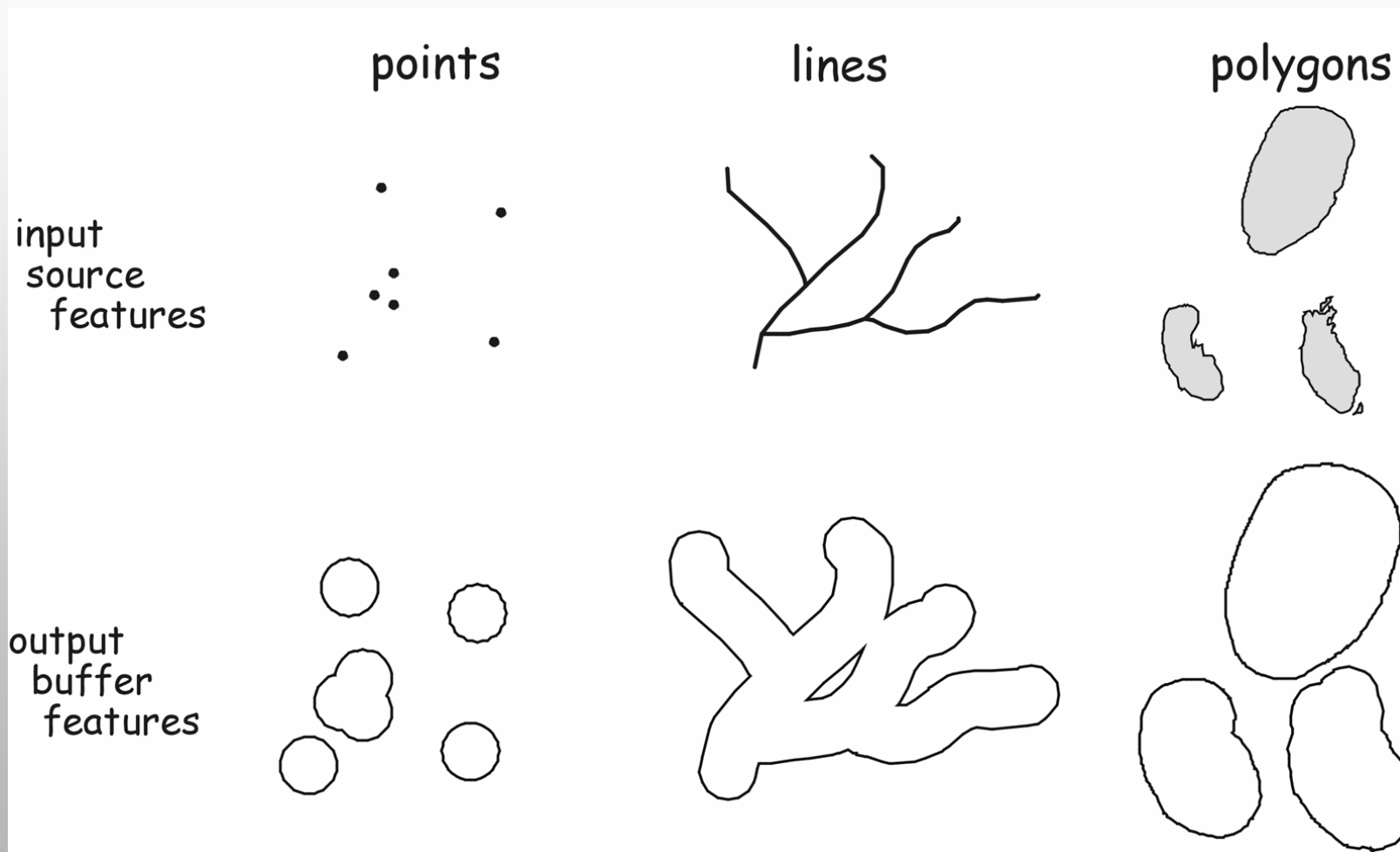
Buffer distance = 15 units



BUFFERING NEL MODELLO RASTER

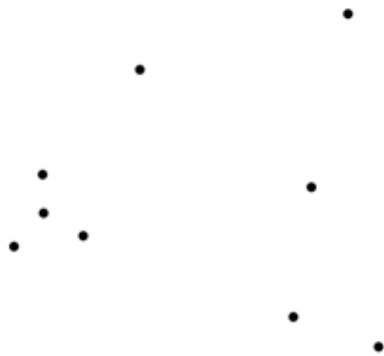
- Bisogna dare una distanza di buffer e fare una riclassificazione
- Si ottiene un limite a “scalini”
- La distanza di buffer non può che essere un multiplo della dimensione della cella

BUFFERING NEL MODELLO VECTOR

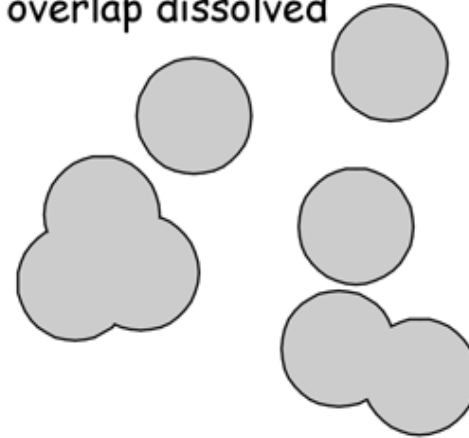


BUFFERING ATTORNO A UN PUNTO

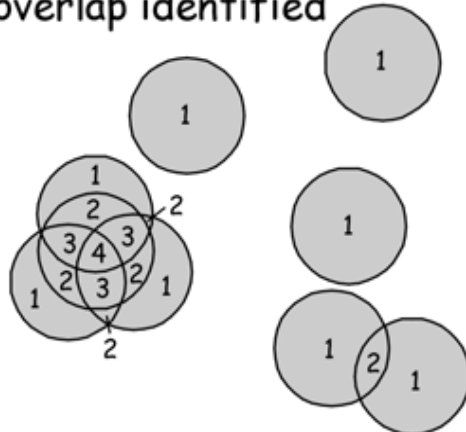
a) point layer



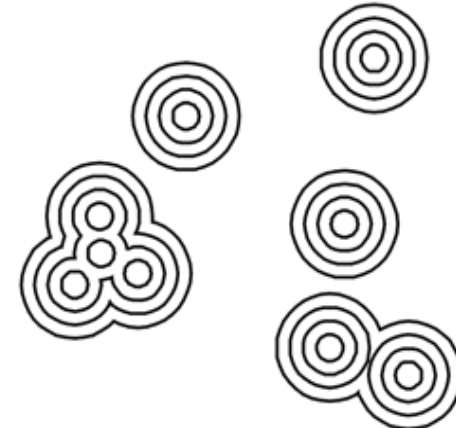
b) simple buffer, overlap dissolved



c) compound buffer, overlap identified



d) nested buffers



NETWORK ANALYSIS – ANALISI DI RETE

Una rete è un insieme di linee (archi) interconnesse e orientate

Gli elementi principali di una rete sono:

I “nodi” che individuano l’inizio, la fine e le intersezioni

Le “catene” che uniscono i nodi

Es.: linee ferroviarie, aeree, autostrade, rete di distribuzione idrica, fognaria ed elettrica, ecc.

NETWORK ANALYSIS

Le principali analisi che possono essere condotte su una rete sono:

- l'individuazione di percorsi ottimali, in termini di distanza, tempo o costo (dato un punto di partenza e di arrivo e vincoli quali il passaggio per determinati punti, sensi di percorrenza obbligati, limiti di velocità ecc.). Es.: ambulanze, pompieri, ecc.
- la valutazione della risposta di una rete ad un evento: ad esempio come risponderebbe una rete fognaria ad un acquazzone intenso o quali zone della città subirebbero un blackout dovuto alla rottura di un certo trasformatore

SEGMENTAZIONE LINEARE (DINAMICA)

Consente di associare attributi diversi a porzioni di uno stesso elemento lineare (arco) senza modificarne la struttura (a esempio inserendo un nodo); è possibile, quindi, attribuire informazioni diverse a porzioni diverse di un arco senza dover effettivamente spezzare fisicamente l'arco

In questo modo le informazioni relative a caratteristiche della rete di cui si conosce la localizzazione (per esempio i tipi di pavimentazione lungo una strada), immagazzinate in una banca dati numerica, possono essere visualizzate in ambiente grafico indipendentemente dalla struttura topologica della rete stessa

APPLICAZIONE GIS

- un modello dati orientato
- un insieme di **algoritmi**
- un'interfaccia utente

Interfaccia utente serie di icone, menu, schermate che consentono all'utilizzatore di richiamare le funzioni più frequentemente richieste all'applicazione e che consentono l'introduzione dei parametri sui quali il sistema effettua i suoi calcoli

Algoritmi veri e propri programmi collegati ai menu dell'applicazione. Effettuano in genere i calcoli necessari all'utente, quali il dimensionamento di una rete, il calcolo di incongruenze spaziali, il percorso ottimale, ecc.

Modello dati orientato modello dati che tenga conto di come i dati debbano essere organizzati per rispondere alle domande che si vorranno fare al sistema.

APPLICAZIONI GIS ESISTENTI

GRASS - Specializzato per dati raster, buon supporto per formati vettoriali. Può connettersi ad alcuni database - Gratuito

IDRISI – Il punto di forza è il trattamento delle immagini raster; discrete capacità vettoriali e ampia gestione di database spaziali. Costo dell'ordine di alcune migliaia di dollari

ArcInfo – Supporta soprattutto dati vettoriali, discrete capacità sui raster. Costo dell'ordine di molte migliaia di euro

MapInfo – Supporta quasi tutti i formati di dati esistenti. Costo dell'ordine delle migliaia di dollari

GEOMEDIA – Supporta sia dati raster che vettoriali. Costo dell'ordine delle migliaia di dollari

GRASS



Il Geographic Resources Analysis Support System, comunemente detto GRASS, è un GIS freeware.

E' stato originariamente scritto da U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, facente parte dell'U.S. Army Corp of Engineering.

Lo scopo iniziale era di ottenere uno strumento per la gestione del suolo e la pianificazione ambientale da parte di enti militari.

GRASS col tempo si è evoluto in una potente applicazione di grande interesse in campo scientifico e della ricerca.

Attualmente è gestito e mantenuto da un'équipe internazionale, ed è usato intensivamente da enti rinomati come la NASA e l'USGS.

Sebbene il principale punto di forza di questo software sia il trattamento dei dati raster, grazie a continui upgrade è attualmente in grado di elaborare in maniera assai sofisticata dati vettoriali.

Infine GRASS è collegabile con alcuni database per fornire dati o riceverli tramite interrogazione.

IDRISI

Sviluppato da Clark Labs, questo programma è ritenuto uno dei più usati nel settore industriale in questo campo.

Oltre alla sua tradizionale potenza nel trattare immagini e file raster, il programma ha ora una discreta capacità di gestire file vettoriali e un notevole sforzo è stato fatto per aggiungere funzioni di creazione e mantenimento di database spaziali.

Le due aree in cui il software eccelle sono il Decision Support e l'Image Analysis.

Il primo riguarda problemi di massimizzazione / minimizzazione sui dati disponibili, ed analisi statistiche al fine di trovare dei trend e valutare i rischi.

La seconda riguarda l'elaborazione delle immagini provenienti dalla fase di remote sensing, soprattutto nella fase di correzione dei dettagli e nell'interpretazione.

ArcInfo

Questo prodotto è sviluppato dalla ESRI (Environmental System Research Institute).

Inizialmente l'azienda si occupava di immagazzinare dati sull'uso del terreno; ha lavorato in seguito su dati geologici insieme alla Mobil Oil. Negli anni '80 focalizzò tutte le sue risorse nello sviluppo della nascente tecnologia informatica GIS, e il suo primo software fu proprio ArcInfo.

Attualmente i prodotti venduti si chiamano ArcGIS Desktop e ArcGIS Workstation; la differenza tra i due è la complessità e i sistemi in cui possono essere utilizzati. La versione Desktop è per sistemi meno potenti.

ArcGIS ha una struttura altamente modulare, ed è formato da molti sottoprogrammi che collaborano, di cui il principale è ArcInfo.

L'enfasi in questa suite è sul modello vettoriale.

ArcView

Nato come visualizzatore di ArcInfo, nel tempo è diventato un vero e proprio GIS che consente di organizzare geograficamente i dati. Una caratteristica di **ArcView GIS** è la semplicità con cui consente di collegare dati provenienti da un database alla geografia, per visualizzarli ed organizzarli nello spazio. L'interfaccia è intuitiva. Una caratteristica di **ArcView GIS** è la legenda interattiva della vista, che presenta tutti i temi disponibili e fornisce un controllo intuitivo della loro visibilità, dell'ordine con cui sono visualizzati e di quale può essere oggetto di ulteriori azioni.

Il mercato, pur continuando ad apprezzare questo prodotto, si è orientato negli ultimi anni, alla versione **ArcView-ArcGIS** realizzata con la moderna tecnologia **ArcGIS**.

MapInfo

Prodotto dalla MapInfo Corp., questo programma è stato ampiamente revisionato ed ampliato ed ora è effettivamente in grado di manipolare efficacemente dati raster oltre che vettoriali. E' in grado di mescolare complesse immagini e poligoni vettoriali senza problemi, creando mappe tematiche e layer con semplicità.

Le capacità di creazione e interazione con database spaziali sono ad un notevole livello.

Il principale elemento che distingue questo programma è la grande quantità di dati geografici che vengono forniti insieme al programma.

Infine va ricordata la grande quantità di formati di file in cui si può importare ed esportare documenti, la possibilità di analisi con i poligoni di Voronoi e il supporto come server per dispositivi wireless.

GEOMEDIA

Sviluppato da Intergraph, è un discendente del meno recente ma più famoso TIGRIS. Le principali caratteristiche del software sono l'enfasi sul modello object-oriented e sull'uso di tecnologie web-based (Java...).

Il programma è molto valido come strumento per la selezione di siti e per la previsione su reti.

Sono state aggiunte più funzioni per manipolare dati raster, layer e contenuti grafici e stilistici. Inoltre è disponibile un set di tool CAD-like per la creazione e la modifica di file (o layer) vettoriali.

Il punto forte del sistema è la gestione di database, che è stata ampliata e comprende tutti i formati attualmente disponibili.