

# Analisi Spaziale

- Introduzione
- L'esplorazione dello spazio
- Modelli di ripartizione territoriale
- Indici statistici geospaziali
- Modellazione delle superfici
- Metodi di Classificazione

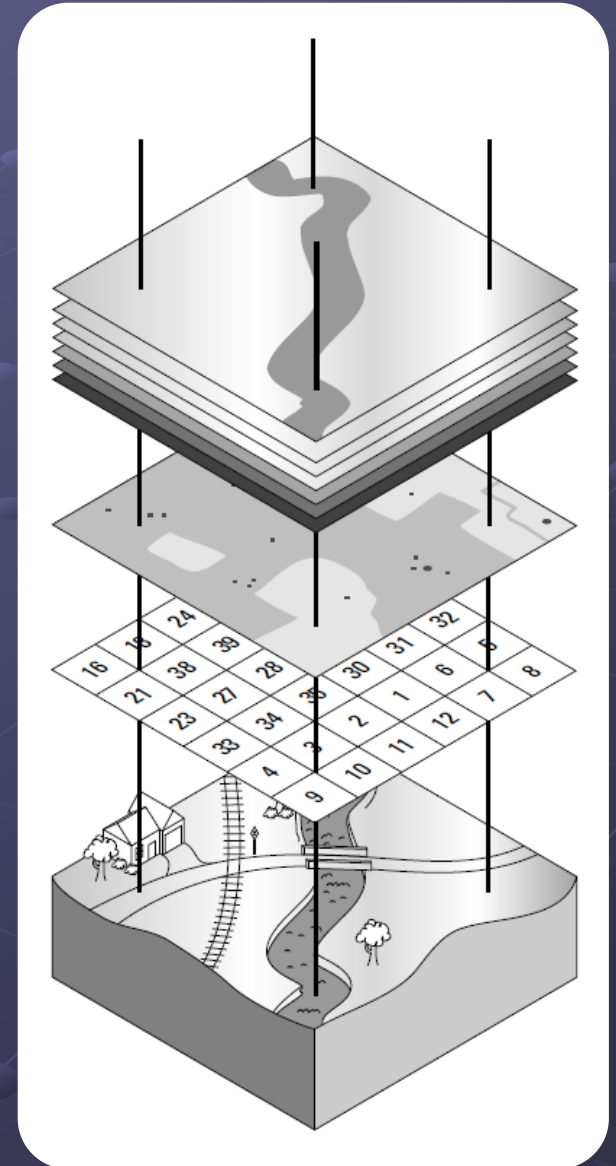
# Esplorazione dello spazio

- Obiettivo della **misurazione** degli attributi spaziali e non spaziali è quello di **individuare, contare e localizzare** gli oggetti presenti in una regione
- La descrizione accurata delle proprietà geometriche degli oggetti, la misurazione delle loro relazioni, l'enumerazione secondo diversi criteri topologici aiuta a formare una **tassonomia dello spazio** e fornisce una prima comprensione dei fenomeni rappresentati nella mappa.
- Nell'esplorazione dello spazio occorre considerare:
  - Gli attributi spaziali
  - L'analisi multistrato

# Gli attributi spaziali

- **Geometria degli oggetti** derivabili dalla forma degli oggetti presenti nella mappa.  
(un sistema GIS è in grado di lavorare direttamente sul modello sferico per evitare le distorsioni introdotte dalle proiezioni)
  - Superficie e perimetro dei poligoni
  - Lunghezza linee
  - Compattanza dei poligoni
  - Frastagliatura linee di confine
  - Centroidi
- **Rapporti nello spazio** (proprietà prossimali e topologiche)
  - Distanze (assolute o relative)
    - Distanza euclidea (o i linea d'aria)
    - Distanza funzionale (vincolata a direttrici di spostamento)
    - Accessibilità temporale (tempo necessario per spostarsi tra due punti)
    - Costi del viaggio
- **Proprietà topologiche**
  - Contiguità spaziale tra oggetti (intersezione tra linee, poligoni,...)

**Le entità descritte sono trattate nei GIS mediante Query**



# L'Analisi Multistrato

**Analisi multistrato:** efficace tecnica di analisi territoriale il cui obiettivo è quello di confrontare informazioni contenute in più strati informativi riferiti a diverse unità di osservazione su un'area comune.

Permette di individuare aree caratterizzate dalla compresenza di più fenomeni.

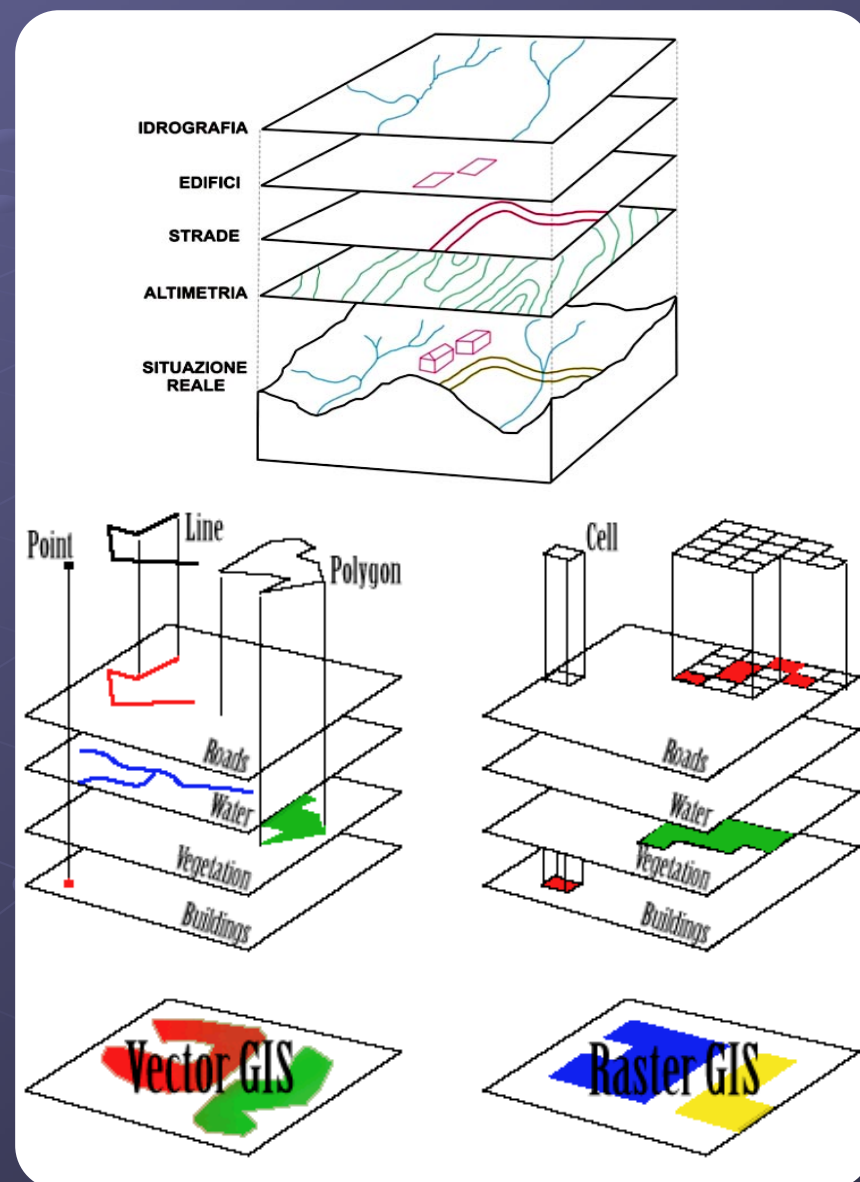
*Esempi:*

- Studio della relazione tra l'immigrazione straniera ed il degrado edilizio
- Confronto della densità abitativa in diversi periodi di tempo

Le più comuni modalità di confronto tra differenti layer informativi sono realizzate mediante tecniche di

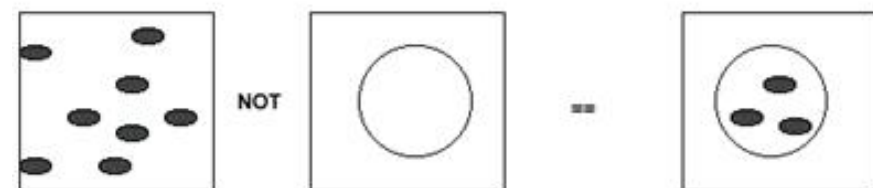
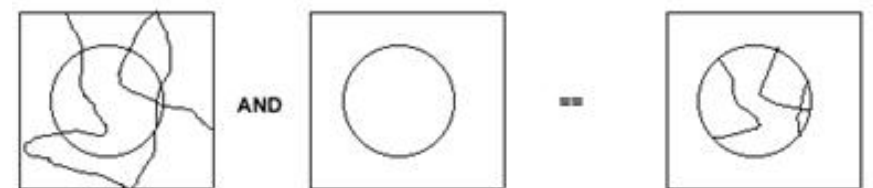
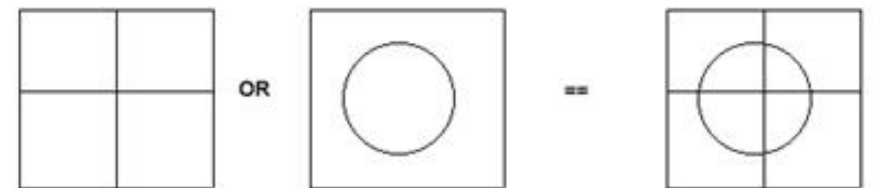
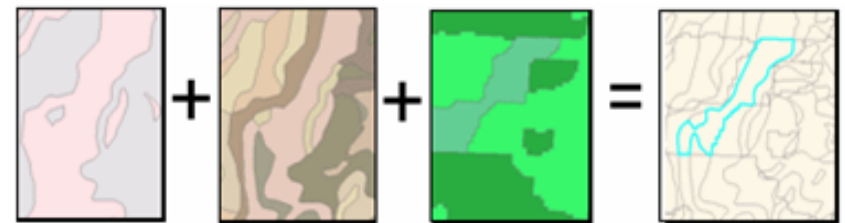
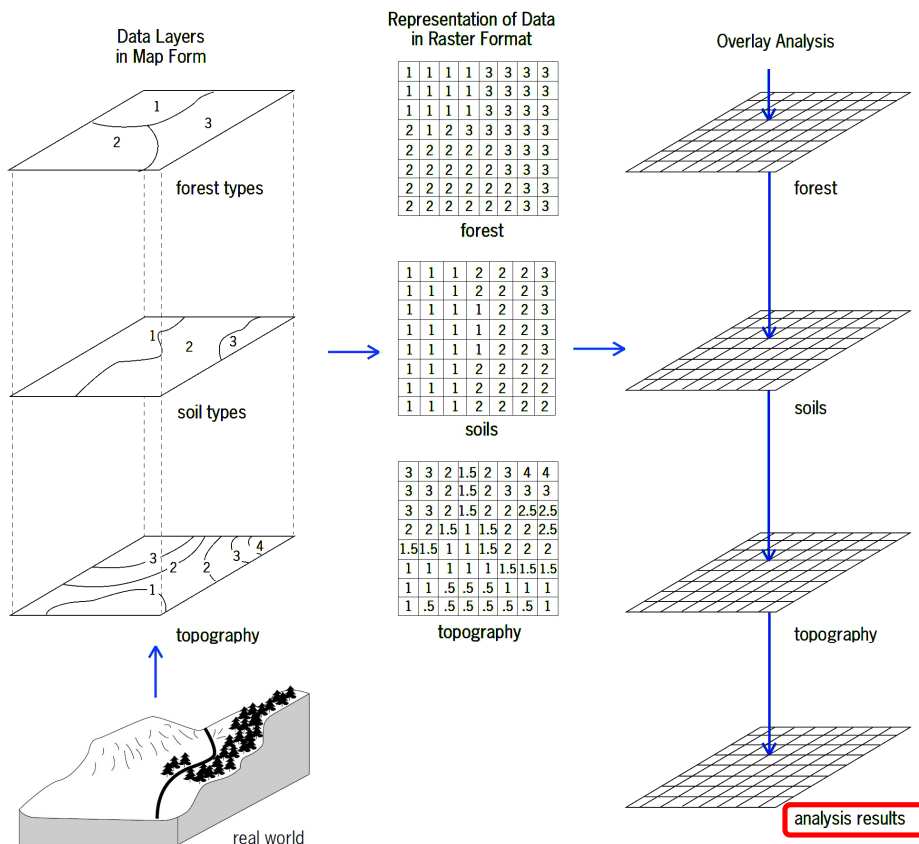
**OVERLAY:**

- Sovrapposizione tra mappe raster
- Sovrapposizione tra mappe vettoriali



# Sovrapposizione tra mappe raster

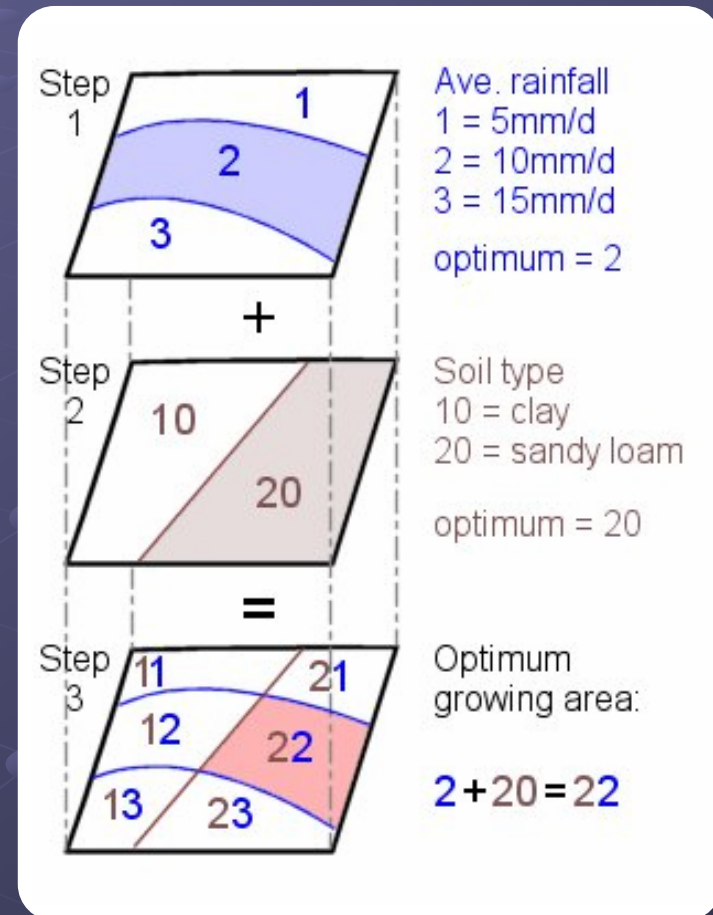
- Pre-requisito: le mappe da confrontare devono essere caratterizzate dallo stesso livello di precisione
- Le cellette possono essere confrontate pixel per pixel usando operatori logici e/o operatori aritmetici





# Sovrapposizione tra mappe vettoriali

- Dati gli oggetti vettoriali rappresentati nei diversi strati informativi ne viene calcolata l'intersezione
- Viene generato un nuovo strato informativo che mette in evidenza una possibile combinazione delle due informazioni
- **Le combinazioni possono essere di tipo logico (booleano) o matematico**
- Il nuovo strato fornisce all'utente informazioni per la scelta di siti per opportune destinazioni d'uso o correlazioni tipo causa-effetto di alcuni fenomeni socio-economici



# Modelli di ripartizione territoriale

- Sono modelli di analisi spaziale che consistono nella creazione di nuove unità territoriali per:
  - Trasformazioni di entità esistenti
  - Ripartizione dello spazio secondo diversi modelli
- Sono rappresentati da famiglie di metodi che hanno in comune l'obiettivo di riorganizzare lo spazio secondo opportuni criteri
- Tali criteri possono essere di tipo sociologico, funzionale, urbanistico, fisico, ecc

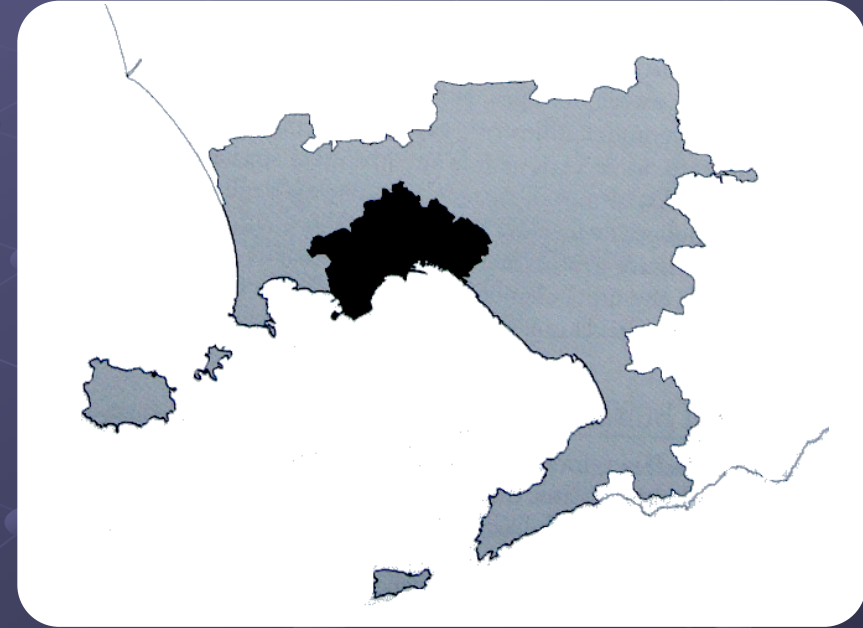
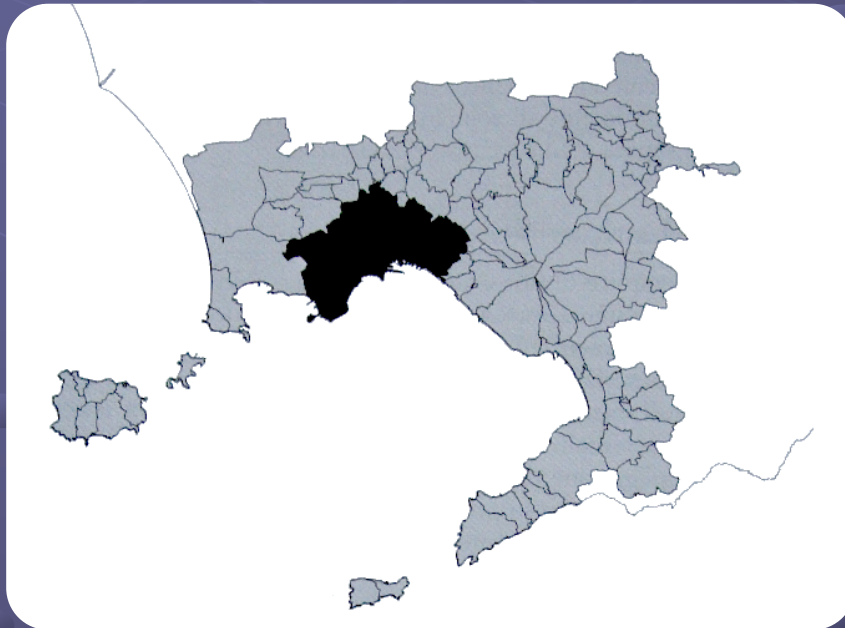
## Principali modelli di ripartizione territoriale:

- Riclassificazione
- Buffer
- Vicinato di Voronoi
- Gravitazione

# Riclassificazione

**Riclassificazione:** riorganizzazione degli oggetti preesistenti dello spazio

- Mediante la riclassificazione vengono trasformate aree omogenee visualizzate nella mappa tematica in nuove aree che risultano dalla aggregazione di aree simili
- I criteri di aggregazione possono essere basati su attributi oppure su proprietà topologiche/prossimali
- Gli attributi sono aggregabili con operazioni e funzione tipiche dei DataBase (somma, medio, minimo,...) con possibilità di creare nuovi mindicatori ottenuti pesando il contributo di ciascun oggetto componente
- Dal punto di vista geometrico la riclassificazione cancella i confini che delimitano le aree originali e ridisegna nuove figure geometriche prive di divisioni interne.



*Esempio di riclassificazione dei quartieri urbani del comune di Napoli e dei comuni della sua provincia (a) in due aree: il capoluogo ed il resto della provincia (b)*



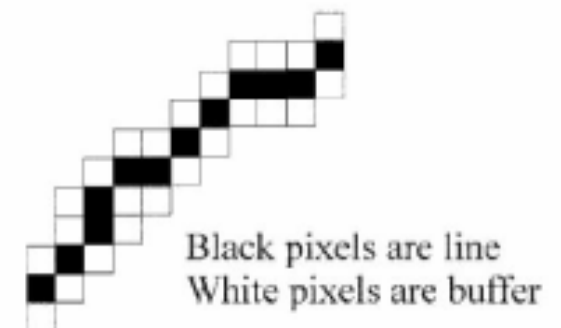
# Modello a buffer

- Con il termine BUFFER si identifica **un'area che si estende intorno ad un oggetto** individuando una **SUPERFICIE DI PERTINENZA** dell'oggetto stesso
- *Esempio:*
  - Un'area circolare intorno ad una scuola ne identifica il bacino d'utenza
  - Un buffer attorno ad un'autostrada rappresenta la fascia soggetta ad inquinamento acustico o chimico dovuto al traffico veicolare
- I buffer identificano aree **EQUIDISTANTI** da un particolare fenomeno
- Possono essere creati generando **aree di ampiezza dipendente** da un attributo specifico dell'oggetto in questione.
  - Esempio:*
    - Un buffer attorno ad una sorgente inquinante potrebbe avere un'area proporzionale all'entità di emissione in quanto l'estensione della zona inquinata dipende dall'entità della sorgente
- L'analisi multistrato tra buffer e altri strati informativi ci può dare diverse informazioni utili
- La produzione di un buffer risulta computazionalmente abbastanza semplice sia nel caso di oggetto vettoriale sia nel caso di una mappa raster

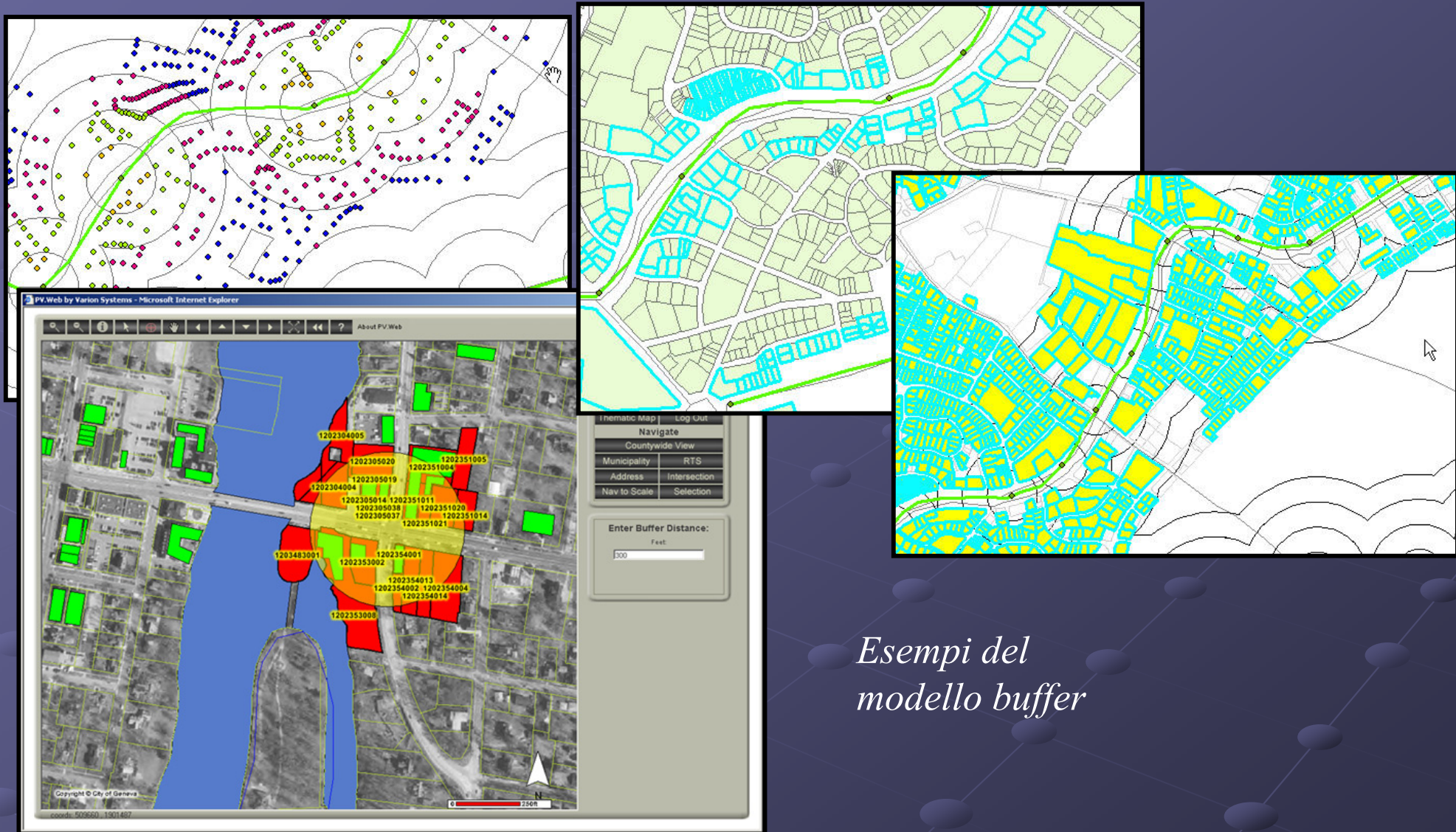
Vector Data Model Buffer



Raster Data Model Buffer



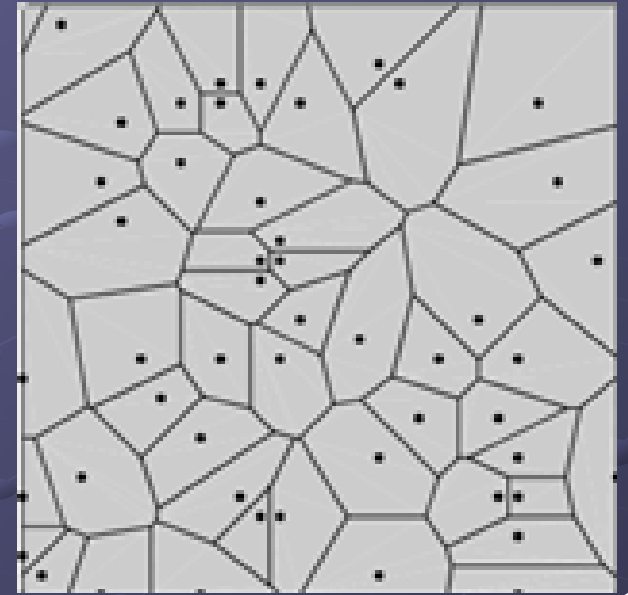
## Modello a buffer (2)



*Esempi del  
modello buffer*

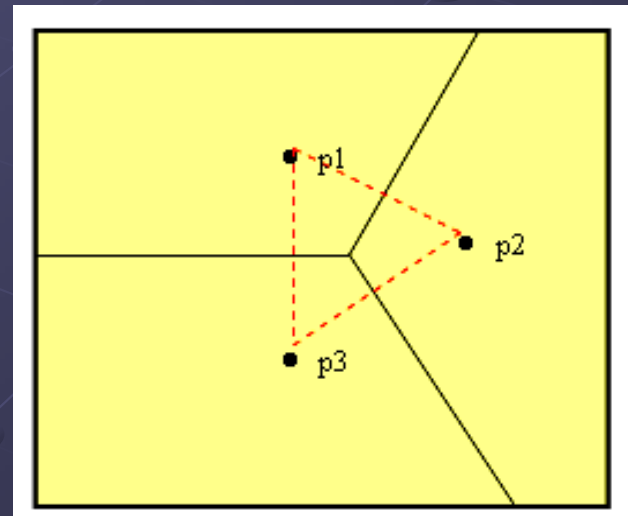
# Modello di vicinato di Voronoi

- Attraverso questo modello viene generata una ripartizione territoriale, basata su un criterio detto **dell'AREA DEL VICINATO**, a partire da una distribuzione di punti sul territorio
- Il modello di Voronoi genera su un insieme di punti una **collezione di regioni** che ripartiscono il piano in maniera continua
- Il modello gode della seguente proprietà:
  - **Ogni regione contiene esattamente un punto del set dato e ha la proprietà di contenere tutti i punti del piano che sono più vicini a quel punto piuttosto che ad un altro**



## GENERAZIONE dei POLIGONI di VORONOI

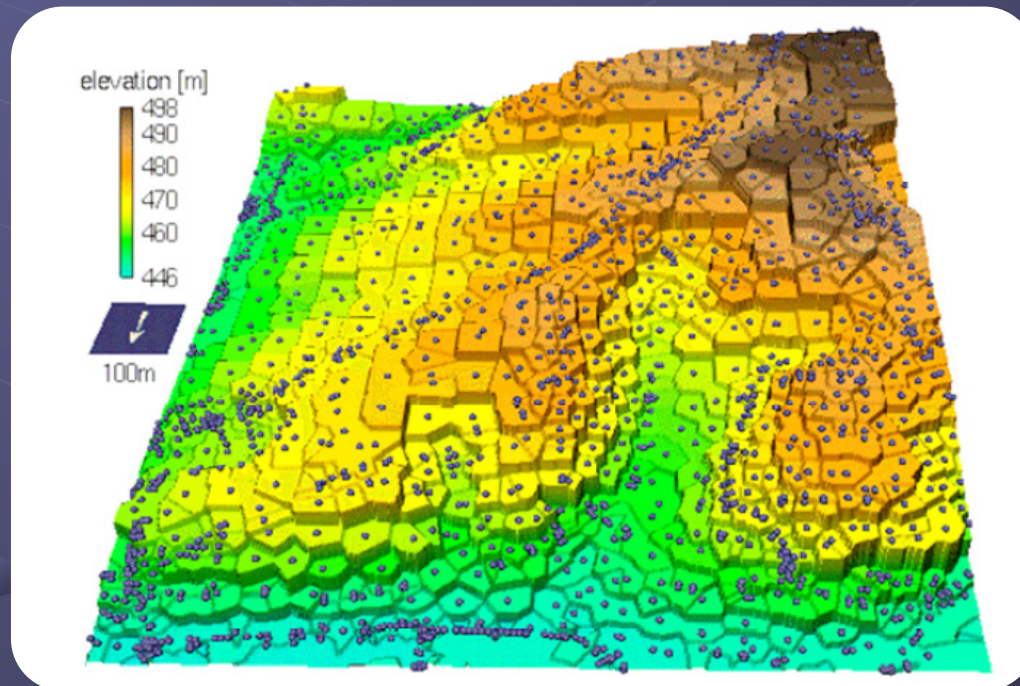
- Dati tre punti nel piano tracciamo le congiungenti i tre punti
- Su ogni congiungente tracciamo la linea bisecante (divide in due la congiungente ed è perpendicolare)
- L'intersezione delle tre bisecanti individua un punto nel piano, chiamato **punto di Voronoi**, che è equidistante ai tre punti del piano ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ).
- In questo caso particolare vengono quindi identificate tre regioni sul piano, chiamate **regioni di Voronoi** o celle di Voronoi, ciascuna contenente un punto dato.





# Modello di Voronoi nel GIS

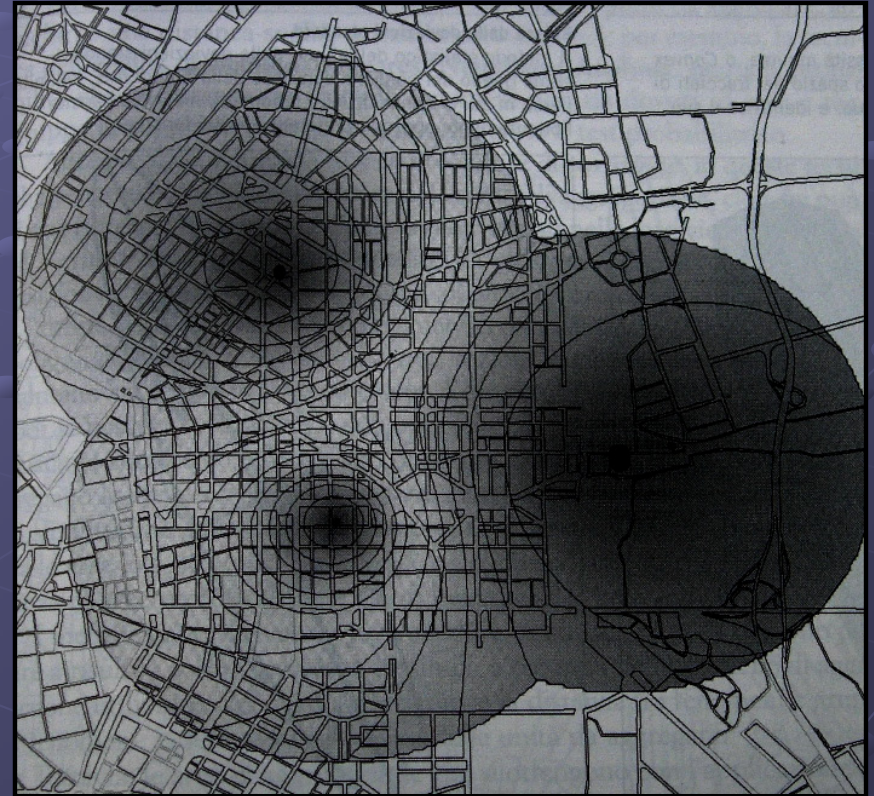
- Le regioni definite dalla poligonazione di Voronoi sono chiamate anche **aree di prossimità** o **bacini di attrazione**
- Tali poligoni costituiscono un buon modello per la definizione dei bacini di utenza o attrazione:
  - **Contengono tutti i punti del piano più vicini al punto generatore che non ad altri punti**
- Definita l'**attrazione di un punto** sulla superficie (Esempio: centro commerciale) come una **grandezza proporzionale alla distanza dal punto**, il poligono di Voronoi identifica l'area contenente tutti i punti (le località geografiche) più vicini al punto generatore (centro commerciale)
- Servono anche alla ricostruzione della distribuzione di un fenomeno nello spazio disponendo di osservazioni campionarie
  - Si divide lo spazio con poligoni di Voronoi ed **ad ogni poligono si associa il valore della grandezza rilevato nel punto generatore**
  - Ciò evita di associare un valore campionato a punti del territorio più vicini ad altri campioni



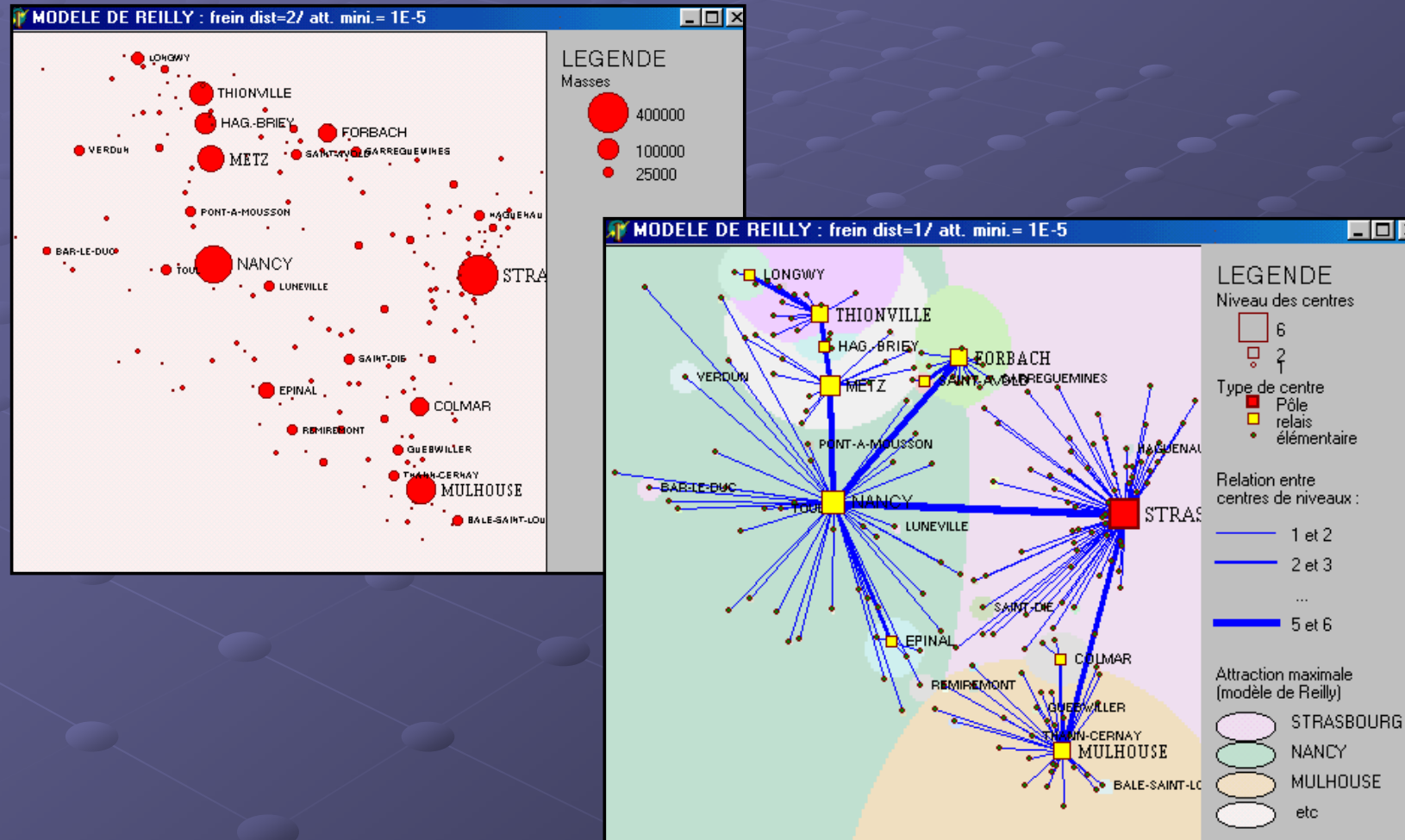


# Modelli di gravitazione

- Sono modelli di ripartizione territoriale basati sull'analogia con il modello di attrazione gravitazionale proposto da Newton secondo il quale **due corpi si attraggono** in modo dipendente dalla loro **massa** e dalla **distanza** che li separa
  - Oggetti più vicini esercitano un'attrazione maggiore
  - Oggetti più grandi esercitano un'attrazione maggiore
- Nei sistemi GIS questi modelli definiscono l'attrazione tra i punti in base alla distanza e al valore di un attributo associato al punto
  - *Esempio:* l'attrazione commerciale tra due città è proporzionale alla loro popolazione ed è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza
- Il Modello di gravitazione genera una ripartizione completa del territorio in aree di attrattività

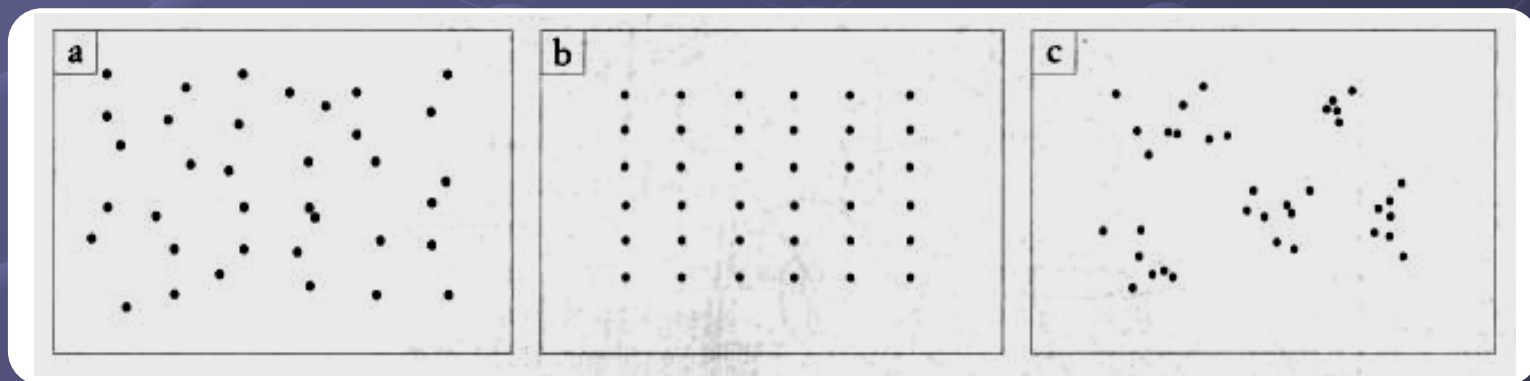


# Modelli di gravitazione (2)



# Indici statistici geospaziali

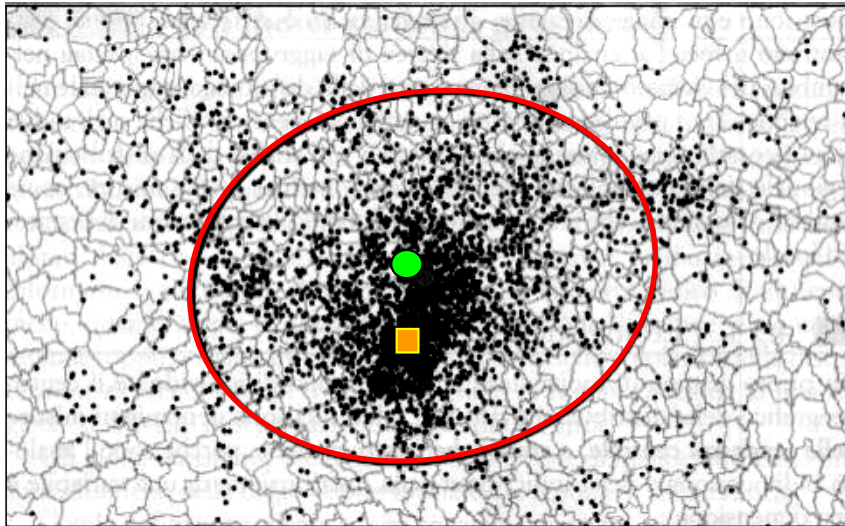
- Sono sistemi di analisi spaziale del territorio che forniscono misure sintetiche della **disposizione spaziale** di un fenomeno
- Tali indici danno informazioni riguardo:
  - Il **baricentro** del fenomeno
  - La **dispersione** territoriale
  - La **direzione** prevalente
  - La **regolarità** della distribuzione
- Con il termine disposizione spaziale o pattern si intende una determinata configurazione degli oggetti nello spazio
  - a) **Pattern casuale**: non esiste nessuna regolarità o motivo
  - b) **Pattern uniforme**: la distanza di ciascun fenomeno da un altro è costante
  - c) **Pattern a cluster**: i fenomeni si trovano disposti in addensamenti staccati da zone vuote



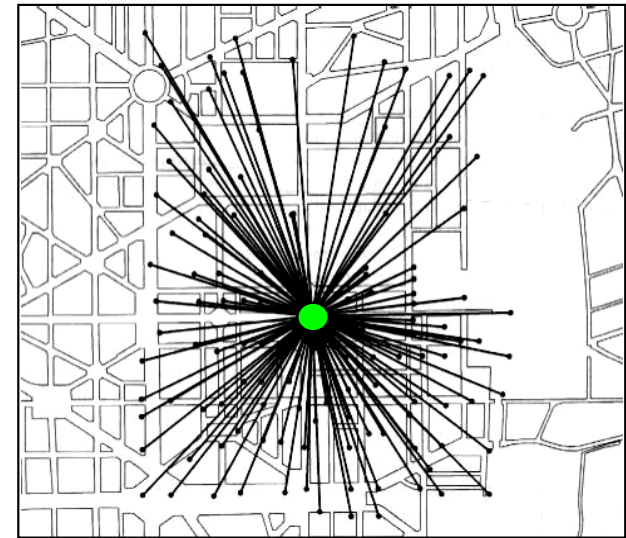


# Statistiche centografiche

- Obiettivo primario delle statistiche centografiche è l'individuazione del centro geografico della distribuzione dei dati:
  - **CENTRO MEDIO**: media delle coordinate di latitudine e longitudine delle singole osservazioni (detto anche **centro di gravità** o punto di equilibrio delle osservazioni)
  - **CENTRO DELLA DISTANZA MINIMA**: rappresenta il punto che minimizza le distanze da tutti gli altri punti della distribuzione detto anche punto di "viaggio minimo"
  - **DEVIAZIONE STANDARD DELLA DISTANZA**: misura la dispersione dei fenomeni sul territorio in termini di distanza rispetto al centro medio
    - **CERCHIO della deviazione standard**: l'area viene evidenziata da un cerchio centrato sul CENTRO MEDIO e il cui raggio e' multiplo della deviazione standard
    - **ELLISSE delle deviazioni standard**: Si calcolano le deviazioni standard lungo l'asse della latitudine e della longitudine definendo gli assi di un ellissi; oltre ad una misura delle dispersione



- **Punti**: residenze studenti iscritti Università di Milano Bicocca
- **Cerchio centrale**: Università di Milano Bicocca
- **Quadrato**: centro medio
- **Ellisse**: area di maggiore concentrazione

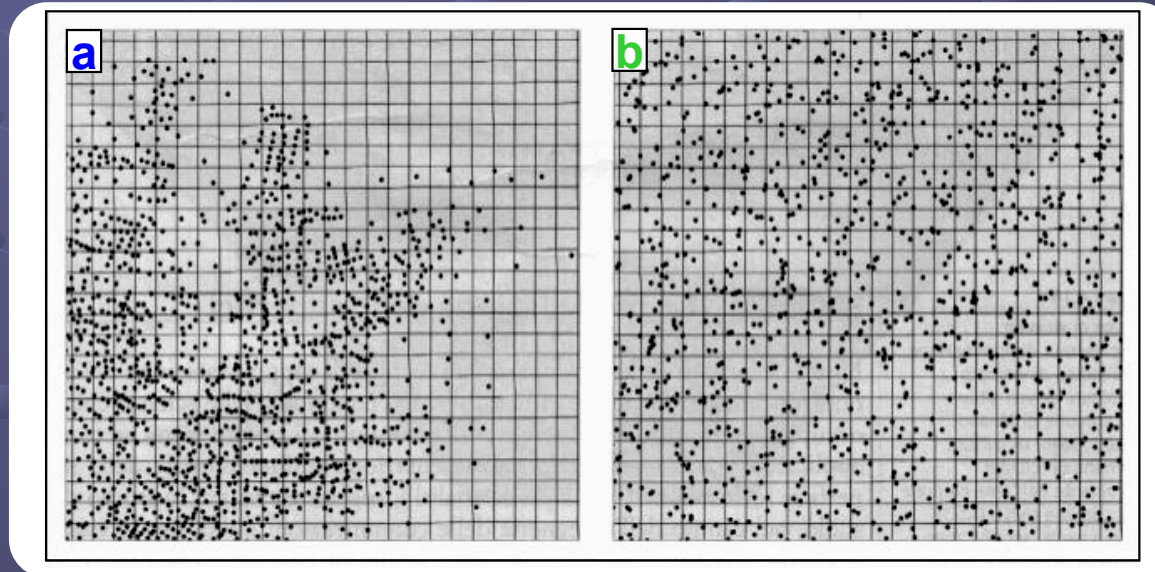


- **Cerchio centrale**: centro della distanza minima da tutti i punti rappresentati nell'area. In questo esempio si misurava l'accessibilità pedonale da un servizio di trasporto pubblico



# Analisi dei quadranti

- L'Analisi dei quadranti è uno strumento per l'analisi del **pattern** (distribuzione di una variabile sul territorio)
- E' largamente usato in campo biologico per lo studio delle immagini derivanti dalla microscopia
- Si basa sul conteggio delle osservazioni su di una griglia regolare a maglie quadrate che suddivide l'immagine
  - Per ciascun quadrato viene valutata la frequenza delle osservazioni (**OCCORRENZA**)
  - Si calcola la varianza delle frequenze (misura di dispersione del fenomeno)
  - Dal confronto tra la distribuzione osservata e una distribuzione casuale si deriva una **misura della presenza di pattern** (raggruppamenti) della variabile sul territorio
- **PUNTI DEBOLI:**
  - La **dimensione della griglia** influenza notevolmente il risultato ma non esiste una regola per determinarne la dimensione ottima
  - Non tiene conto delle **variazioni locali** tra le celle confinanti



La mappa (a) rappresenta la popolazione residente nel quadrante Nord-est del comune di Milano  
In (b) viene rappresentata una distribuzione casuale di un ugual numero di punti rispetto a (a)  
Il confronto tra la distribuzione dei punti nelle due griglie fornisce una misura statistica della regolarità del pattern

# L'analisi di vicinato (Nearest Neighbour Analysis)

**L'Indice Nearest Neighbour (NNI) misura il grado di dispersione spaziale di una distribuzione di punti.** Il calcolo è basato sulla misurazione delle distanze di punti adiacenti: la distanza tra punti raggruppati (clustered) è inferiore a quella in cui i punti sono distribuiti in un'area in modo casuale o uniforme.

Le formule per il calcolo dell' NNI sono:

$$Ed = 0.5\sqrt{A/N}$$

$$Ad = \left( \sum_{i=1}^N d_i \right) / N$$

$$NNI = Ad / Ed$$

In cui:

$Ed$  = distanza attesa

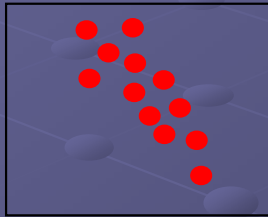
$Ad$  = distanza di vicinato

$d_i$  = distanza del punto  $i$  al punto più vicino

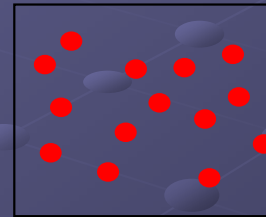
$A$  = Area della mappa

$N$  = numero totale dei punti

$NNI \rightarrow 0$   
(Cluster)



$NNI \rightarrow 1.0$   
(Random)



$NNI \rightarrow 2.14$   
(Uniforme)



Valori di  $NNI$



Tendenza al raggruppamento

Tendenza alla regolarità

- Se i punti cadono tutti nel medesimo luogo  $\rightarrow Ad = 0 \rightarrow NNI = 0$
- Se i punti sono molto raggruppati  $\rightarrow NNI$  tende a 0 poiché è piccola la loro distanza media
- Se i punti hanno una distribuzione casuale  $\rightarrow NNI$  tende a 1
- Se i punti sono distribuiti in modo perfettamente uniforme  $\rightarrow NNI$  tende a 2.1491

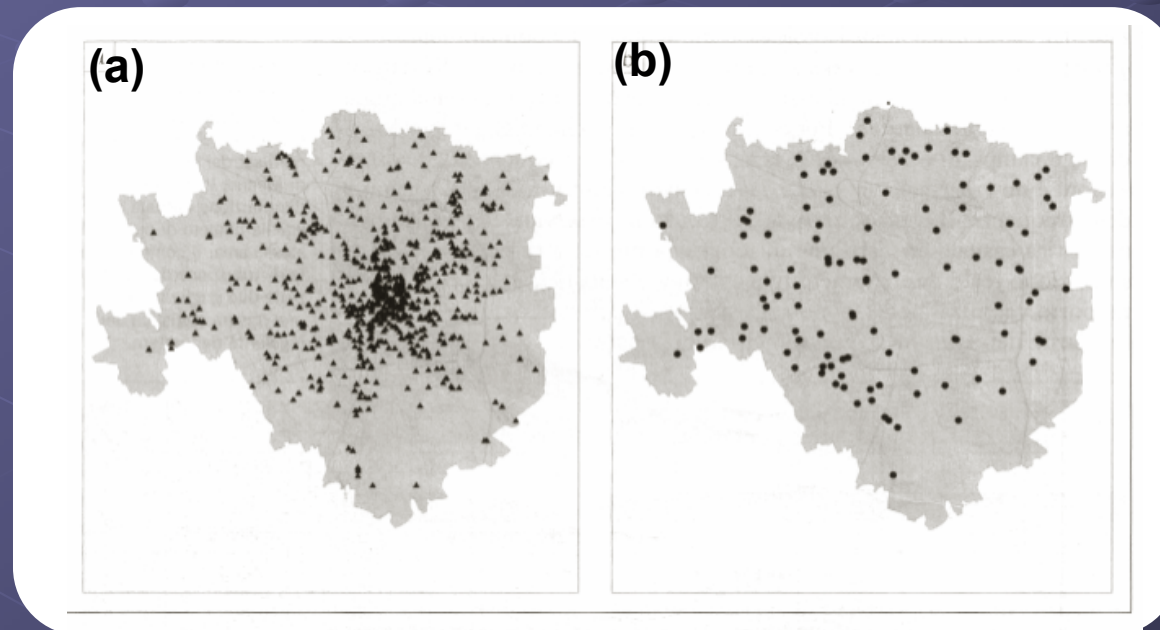
## L'analisi di vicinato (2)

### *Esempio:*

La mappa (a) mostra i luoghi di cultura a Milano; dal calcolo si ottiene un indice di vicinato  $NNI=0.53$

La mappa (b) mostra i centri sportivi sempre a Milano; si ottiene un indice di vicinato  $NNI = 0.27$

In questo esempio l'analisi di vicinato mostra che i centri sportivi sono maggiormente organizzati a cluster ( $NNI$  minore) anche se all'apparenza sembrerebbe il contrario



# Metodi di Classificazione

**Metodi LOCALI:** calcolano il valore sconosciuto basandosi sui valori noti nell'immediato intorno; riproducono fedelmente le variazioni locali della variabile. Sono basati su singole funzioni matematiche applicate ad una parte della totalità dei punti campionati

**Metodi GLOBALI:** stimano i valori nei punti sconosciuti utilizzando tutti i dati disponibili e cercando di valutarne la distribuzione e l'ANDAMENTO GLOBALE; dato l'andamento globale si estrapolano i valori in qualunque zona d'interesse. Sono basati su singole funzioni matematiche applicate a tutti i punti.

**Metodi ESATTI:**

- La superficie risultante passa esattamente in tutti i punti del data set
- Valida con dati molto accurati

**Metodi APPROSSIMATI:**

- La superficie risultante NON passa esattamente in tutti i punti del data set
- Valida con dati molto accurati con alto grado di incertezza

**Metodi GRADUALI:**

- produce superfici lisce (smussate) che passano per tutti i punti
- Appropriata per l'interpolazione di dati con piccola variabilità locale

**Metodi BRUSCHI:**

produce superfici lisce a gradini

- Appropriata per l'interpolazione di dati con grandi variabilità locali o con forti discontinuità

**Metodi DETERMINISTICI:**

- Usati quando sussistono sufficienti conoscenze circa la superficie da modellare
- Permette di utilizzare modelli matematici specifici

**Metodi STOCASTICI:**

Utilizzati per incorporare variabili random nelle superfici da interpolare



# Interpolazione

L' **INTERPOLAZIONE SPAZIALE** permette di stimare il **valore di una variabile in zone non "coperte" da osservazioni basandosi sulla conoscenza della variabile in punti noti.**

Molti GIS offrono alcuni sistemi di interpolazione; tipici metodi sono:

- Poligoni di Thiessen o Voronoi
- Triangulated Irregular Networks (TINs)
- Spatial moving average o altre tecniche matematiche
- Trend Surfaces
- Kriging

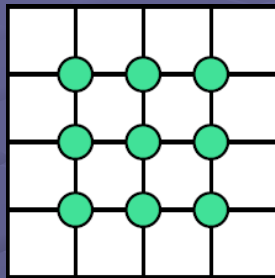
L' **interpolazione spaziale** si basa su due assunzioni fondamentali:

- Il fenomeno d'interesse si assume abbia natura continua e sia quindi misurabile con una variabile metrica
- I fenomeni osservati siano spazialmente dipendenti (è possibile derivare il valore della variabile in un punto dati i punti circostanti (**LOCALE**) o data la caratterizzazione di una certa regione (**GLOBALE**))

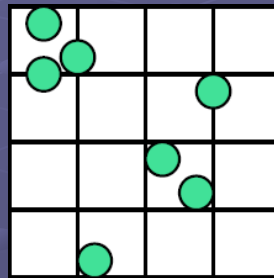
**Il metodo di interpolazione deve essere scelto anche in base alla distribuzione dei punti noti (campioni)**

# Metodi di campionamento

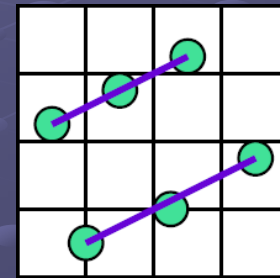
Il metodo di campionamento è fondamentale per la scelta dei successivi metodi di interpolazione:



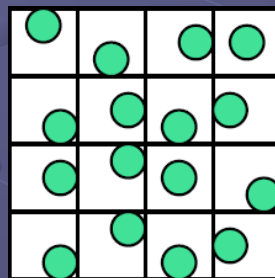
Regolare



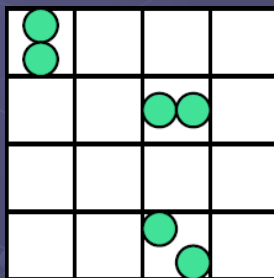
Random



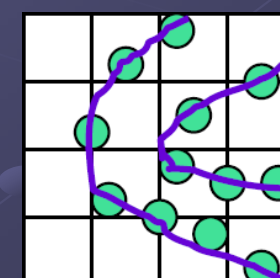
Transetti



Stratified Random



Cluster



Contour

# Interpolazione lineare da isolinee (stima locale)

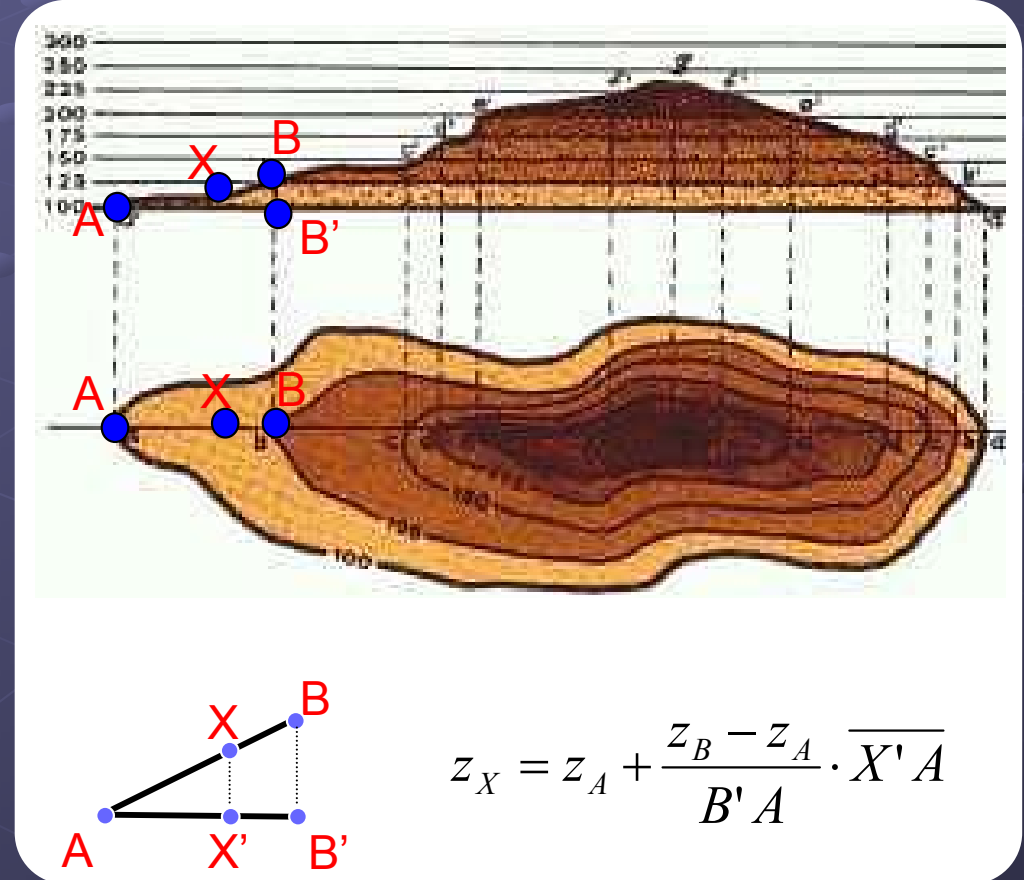
- Un metodo molto comune per rappresentare l'andamento di un valore nello spazio è quello che utilizza le **isolinee**
- Il procedimento di interpolazione applicato a dati rappresentati sotto forma di isolinee permette di avere una **stima della variabile in qualsiasi punto** derivandolo dal valore nei punti che appartengono alle isolinee
- Il procedimento più semplice è quello del metodo di interpolazione lineare:
  - Si traccia il segmento più breve che unisce due isolinee adiacenti e passante per il punto di interesse.
  - Sul segmento generato si applica l'interpolazione lineare.

Interpolazione di Lagrange:

$$f(x) \approx r(x) = f(a) + \frac{f(b) - f(a)}{b - a}(x - a)$$

$$f(x) = \underbrace{r(x)}_{\text{Valore vero}} + \underbrace{\omega(x-a)(x-b)}_{\text{valore approssimato} + \text{errore}}$$

Valore vero = valore approssimato + errore



# Metodo di KRIGING (stima globale)

- Prende il nome dall'ingegnere minerario sudafricano **D.G. Krige** che sviluppò una tecnica per ottenere una mappa dei filoni d'oro a partire da dati campionari
- Il processo di interpolazione di KRIGING è costituito da due fasi distinte:
  - Analisi statistica delle **TENDENZE DI FONDO** della distribuzione dei punti campionari attraverso la costruzione del **VARIOGRAMMA**
  - **Interpolazione** vera e propria **guidata dal modello** della regione



# Variogramma

## Definizione:

Il Variogramma descrive in modo statistico l'andamento della variabile di interesse sul territorio misurando il grado di cambiamento dei dati campionari nello spazio

Si basa su di un concetto di autocorrelazione spaziale dei dati ed è in grado di tenere conto di eventuali andamenti non lineari del flusso del valore (direzioni preferenziali, filoni, ecc)

Tecnicamente è un modello statistico della morfologia dello spazio costruito sommando tre componenti:

- Una componente strutturale *drift* (corrente, flusso) che rappresenta una costante di trend della regione
- Una componente casuale correlata spazialmente
- Un errore casuale che rappresenta l'errore residuo

## Costruzione:

E' una funzione che interpola la varianza dei valori osservati in gruppi di coppie di punti a determinate distanze

Il variogramma e' definito come:

$$\gamma(h) = \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{(z(x+h) - z(x))^2}{n(h)}$$

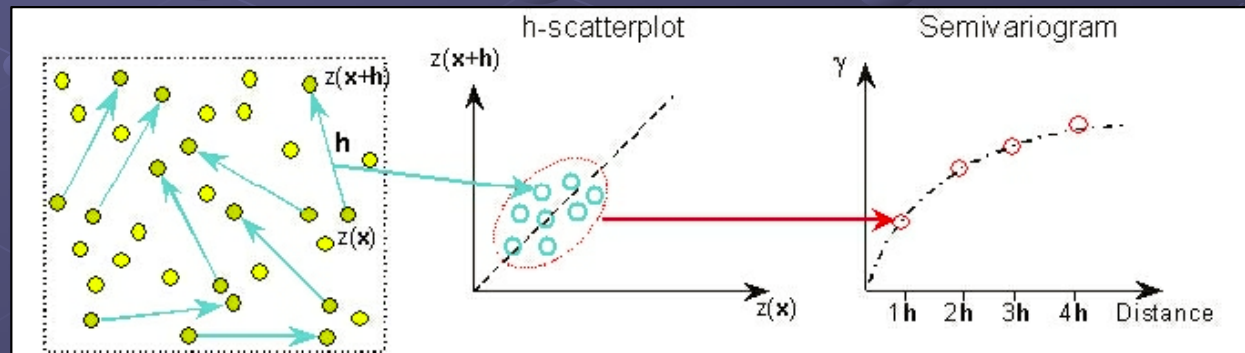
in cui:

$z$  = valore della misura nel relativo punto

$h$  = classe di distanza tra punti di misura

$n(h)$  = conteggio del numero di coppie di osservazioni effettuate alla distanza  $h$

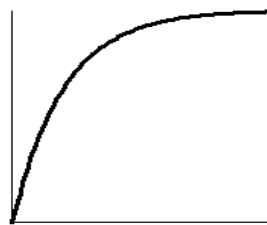
## Esempio:



# Interpolazione del variogramma

Una volta costruito il variogramma empirico si cerca il modello che meglio lo approssima tra i modelli standard

In questo modo otteniamo una legge che descrive l'andamento della nostra variabile sul territorio a scala globale (in tutta la zona coperta dai campioni)



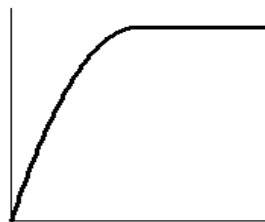
**Exponential Model**  
Cressie (1991, p. 61)

$$\gamma(h) = C[1 - e^{-\lambda h}]$$



**Gaussian Model**  
Pannatier (1996, p. 50)

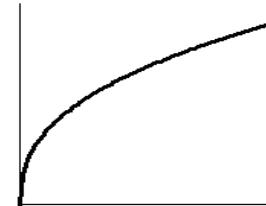
$$\gamma(h) = C[1 - e^{-\lambda^2 h^2}]$$



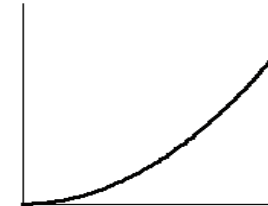
**Quadratic Model**  
Alfaro (1980, p. 31)



**Rational Quadratic Model**  
Cressie (1991, p. 61)



$$0 < h < 1$$

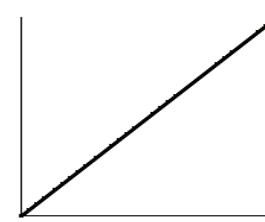


$$1 < h < 2$$

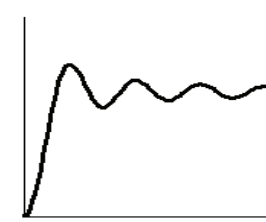
**Power Models**  
Pannatier (1996, p. 51)

$$\gamma(h) = C[h^n]$$

where  $0 < n < 2$   
when  $n=1$  it is a Linear Model



**Linear Model**  
Kitanidis (1997, p. 61)



**Wave (Hole Effect) Model**  
Cressie (1991, p. 62)