

- ▶ **I modelli dei dati**
- ▶ **Il modello vettoriale**
- ▶ **Le primitive geometriche**
- ▶ **La Topologia**

Modelli dei dati

Il mondo reale che noi percepiamo con i nostri sensi può essere considerato come costituito di oggetti, dotati di certe proprietà, i quali interagiscono tra di loro.

Studiare il mondo reale significa quindi studiarne gli oggetti e il modo con cui questi oggetti interagiscono.

Nei GIS le entità del mondo reale ed i reciproci meccanismi di interazione vengono rappresentati attraverso dei **modelli**.

Vediamo un esempio



Un modello è un'**immagine semplificata** e **schematica** della realtà, nella quale vengono considerati solo gli aspetti del mondo reale che risultano più rilevanti ai fini della comprensione dei fenomeni oggetto dell'indagine.

L'impiego di un modello comporta quindi

- un'operazione di **astrazione** e **semplificazione** della realtà,
- la definizione di una **struttura dati** adeguata a supportare questa astrazione.

Ai fini della modellazione, gli elementi geografici del mondo reale possono essere distinti secondo due classi fondamentali:

- **Oggetti**
- **Fenomeni**

Gli **oggetti** sono entità fisiche (come edifici, strade, acquedotti, ecc.) oppure entità giuridiche (come stati, comuni, proprietà, ecc.), che

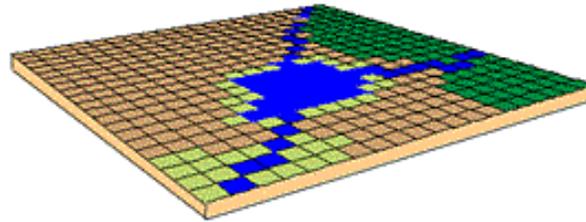
- hanno un limite (spazio occupato) ben individuabile,
- possono essere considerate come entità **discrete**.

I **fenomeni** sono eventi che

- si manifestano in modo **continuo** (come l'altitudine, la temperatura, la pendenza del suolo, ecc.),
- esistono ovunque (ad es. ogni punto del suolo ha una altitudine o una pendenza),
- non hanno limiti spaziali individuabili.

I modelli dei dati correntemente impiegati nei GIS sono due:

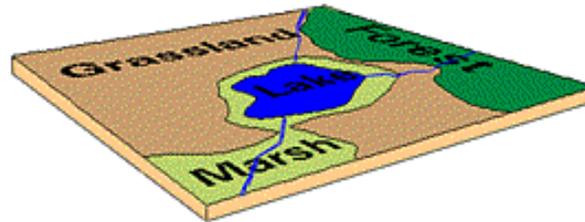
Modello
RASTER



Unità di base: **cella**

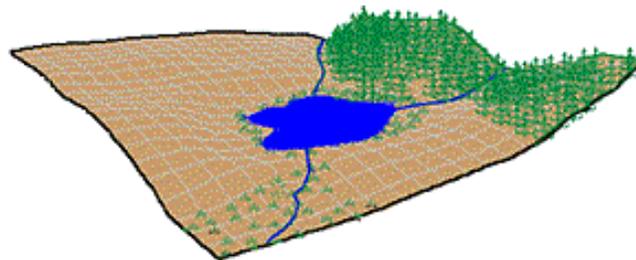
- quadrata → modello **GRID**
- triangolare → modello **TIN**

Modello
VETTORIALE



Unità di base: primitive geometriche
punto, linea e poligono.

Area di studio



Lo stesso contesto geografico può quindi essere analizzato sotto punti di vista differenti acquisendo **differenti tipologie di informazione.**

La scelta di un particolare modello dipende:

- dalle particolari esigenze dell'utilizzatore (obiettivi dello studio),
- dagli strumenti con cui vengono acquisite le informazioni,
- da specifiche esigenze di rappresentazione dei dati,
- dalle tipologie di algoritmi di elaborazione disponibili nei software GIS.

La rappresentazione di oggetti del mondo reale è comunque **imperfetta** perchè:

- la nostra conoscenza delle entità e delle loro caratteristiche è incompleta,
- gli strumenti logici, matematici e informatici che usiamo sono limitati,
- i modelli sono progettati per evidenziare solo determinati aspetti della realtà, quelli che noi consideriamo utili alle nostre analisi.

Indipendentemente dalla classe di appartenenza e dal modello dei dati utilizzato, gli elementi del Mondo reale vengono rappresentati in un GIS secondo tre componenti:

- **GEOMETRIA**
- **ATTRIBUTI**
- **RELAZIONI SPAZIALI**

Nel modello vettoriale la **geometria** viene descritta tramite

- coordinate di posizione associate a primitive geometriche,
- funzioni matematiche che operano sulle primitive stesse.

Le coordinate (ad es. latitudine e longitudine) sono espresse in un dato sistema di riferimento e definiscono la **posizione geografica** delle primitive.

La geometria di un oggetto e le relative coordinate di posizione costituiscono i “dati spaziali” (***spatial data***).

Gli **attributi** forniscono invece un'informazione descrittiva del dato spaziale.

Queste informazioni possono essere espresse in formato alfanumerico (ad esempio il codice postale oppure il numero civico), oppure sottoforma di testi, disegni, foto, ecc.

E' così possibile collocare geograficamente dati che non hanno intrinsecamente una connotazione geografica diretta.

Si parla in questo caso di dati "aspaziali" (***aspatial data***);

Le **relazioni spaziali**, quali la *connessione*, l'*adiacenza*, l'*inclusione*, individuano le mutue relazioni esistenti nella realtà tra gli elementi del territorio.

Nei GIS queste relazioni possono essere restituite secondo due differenti approcci:

- tramite la definizione della ***topologia*** degli elementi,
- sfruttando le **relazioni geometriche** che possono essere definite tra le primitive stesse.

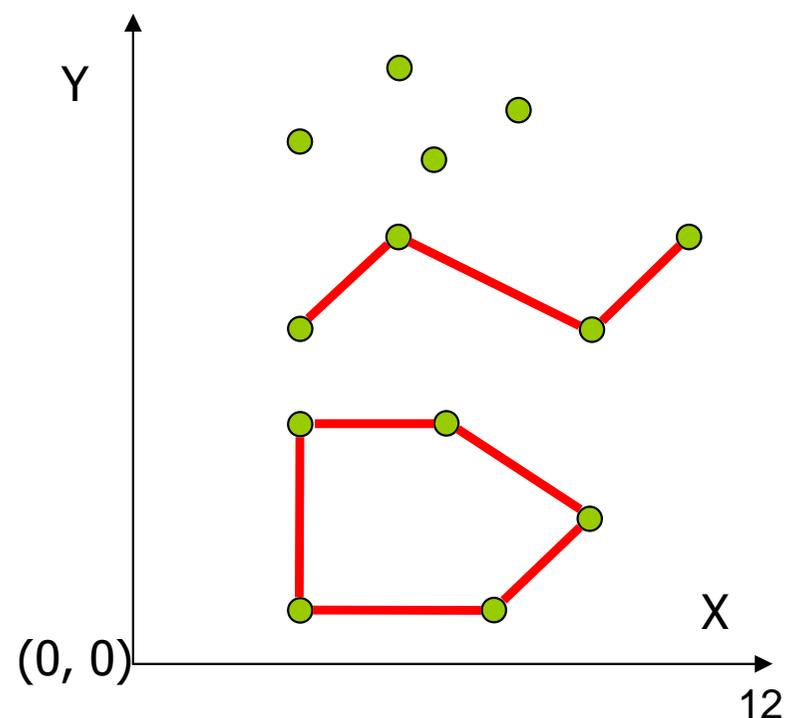
Il modello Vettoriale

Qualsiasi oggetto geografico di interesse del mondo reale viene rappresentato mediante le seguenti primitive geometriche: **punti**, **linee** e **poligoni**.

La **georeferenziazione** di queste primitive, cioè la corrispondenza tra un oggetto disposto sulla superficie del terreno e la sua rappresentazione geometrica nel GIS, si realizza attraverso sistemi di coordinate (X, Y ed, eventualmente, Z).

Le coordinate sono espresse rispetto ad un dato sistema di riferimento.

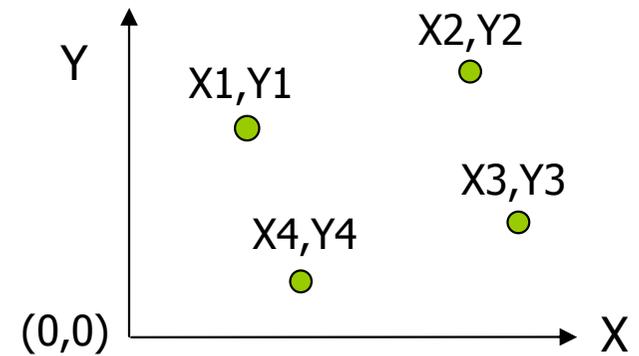
- coordinata X (Est)
- coordinata Y (Nord)



Il punto

Non ha dimensione, ma solo una posizione.

E' rappresentato da una coppia (o tripletta) di coordinate.



La geometria punto è utilizzata per definire **posizioni discrete** di oggetti geografici troppo piccoli per essere rappresentati con linee o aree.

Punti possono quindi rappresentare ad esempio: alberi, pali telefonici o elettrici, pozzi di irrigazione, tombini, cime di montagne, posizioni misurate con il GPS, ecc.



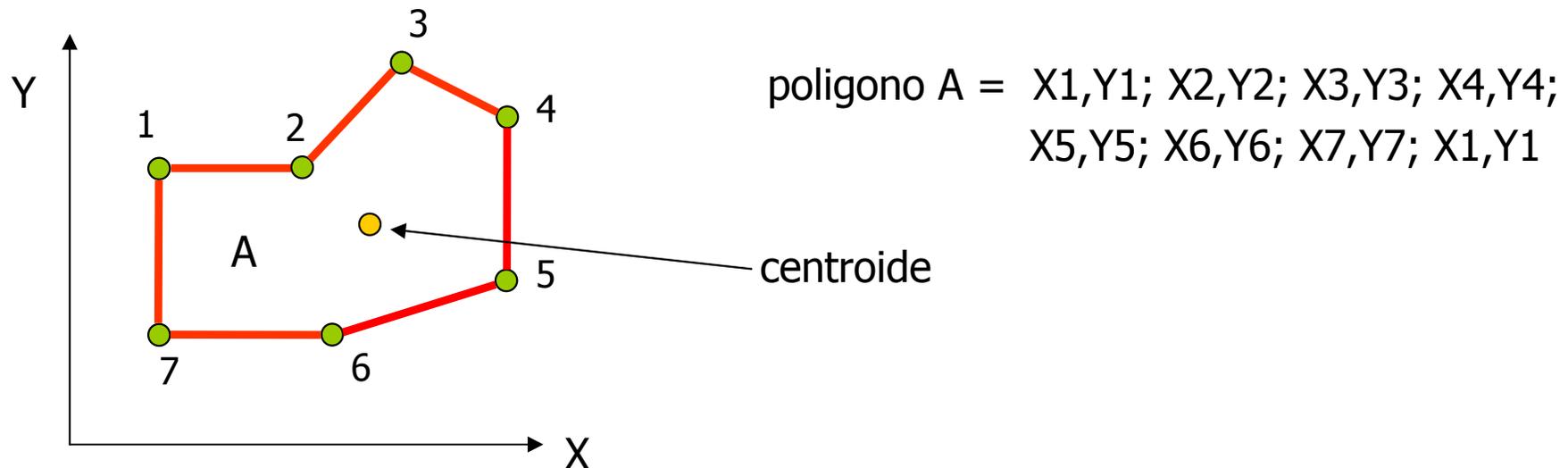
Poligono (o area)

E' definito da una linea chiusa, costituita a sua volta da punti connessi da segmenti.

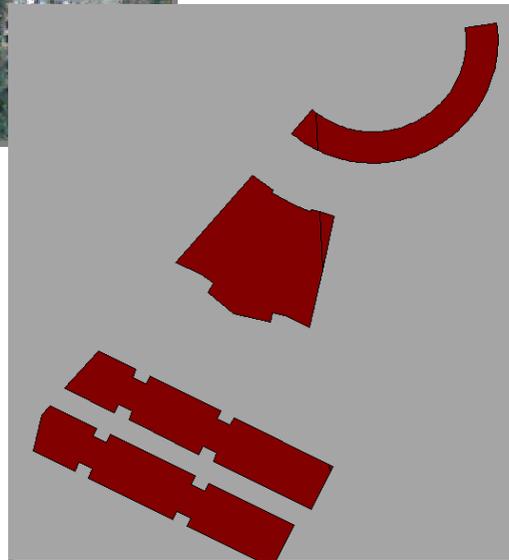
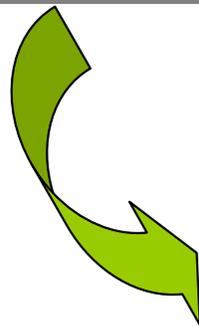
In un poligono il punto iniziale e finale della linea chiusa coincidono.

Il centro geometrico di un poligono prende il nome di **centroide**.

Un poligono viene descritto tramite una serie di coordinate relative ai segmenti di linea che lo racchiudono.



I poligoni sono impiegati per rappresentare la forma e la posizione di oggetti geografici **omogenei** come ad esempio: stati, regioni, comuni, particelle catastali, uso del suolo, laghi, geologia, edifici, ecc.



Esempio di modellazione vettoriale

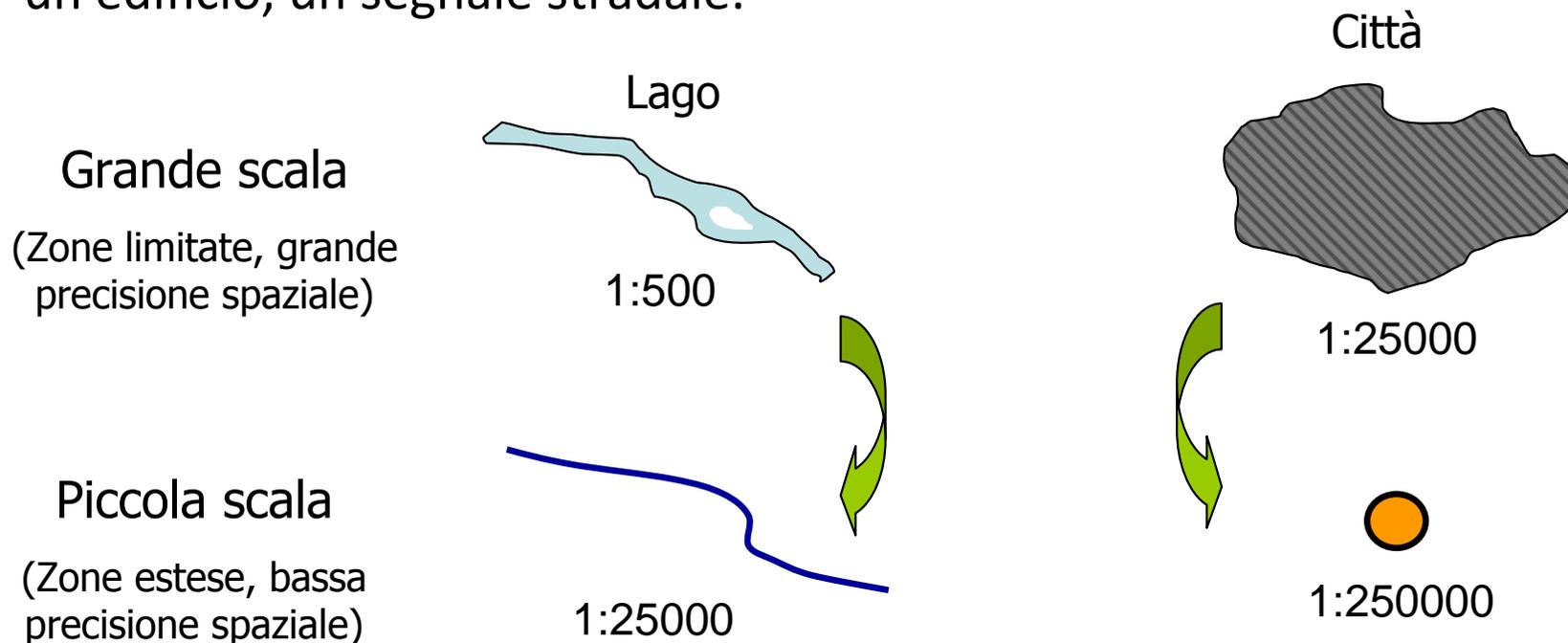


Primitive geometriche e scala della carta

Una stessa entità geografica può essere rappresentata in un modello vettoriale con diverse primitive geometriche a seconda degli scopi della rappresentazione o della scala di osservazione.

La geometria (**dimensione e forma**) degli elementi rappresentati dipende quindi dalla **scala** della mappa.

Ad esempio, al crescere della scala un punto può simboleggiare una città, un edificio, un segnale stradale.



La Topologia

Il termine deriva dal greco Topos + logos, ovvero “studio dei luoghi”, ed è un settore della geometria che studia le proprietà delle forme e le loro relazioni geometriche.

Nell’ambito dei GIS, attraverso la topologia è possibile definire relazioni di **connessione**, **adiacenza** e **inclusione** tra primitive geometriche (punti, linee e poligoni) e quindi analizzare le **relazioni spaziali** fra dati geografici.

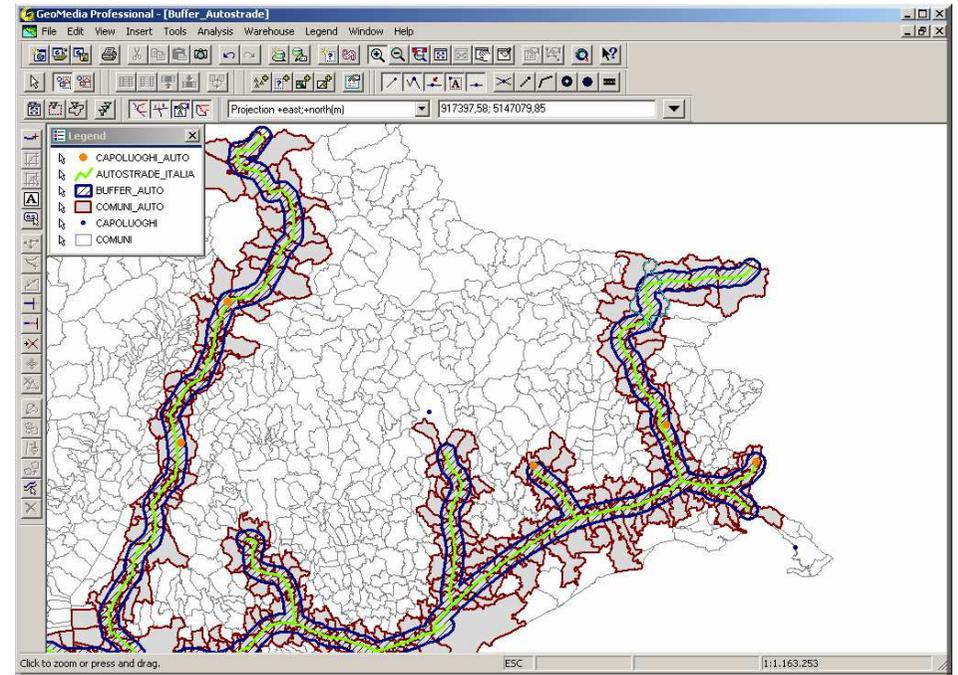
Un GIS si dice **topologicamente strutturato** se nel suo modello dei dati oltre alla descrizione geometrica (coordinate) degli oggetti geografici vengono esplicitamente registrate (codificate) anche le **relazioni topologiche** fra gli oggetti stessi.

A cosa serve la topologia ?



Prossimità

Quali allevamenti distano 3 Km e 10 Km dal focolaio dell'epidemia ?



Intersezione

Quali sono i comuni attraversati da autostrade ? (fascia di rispetto)



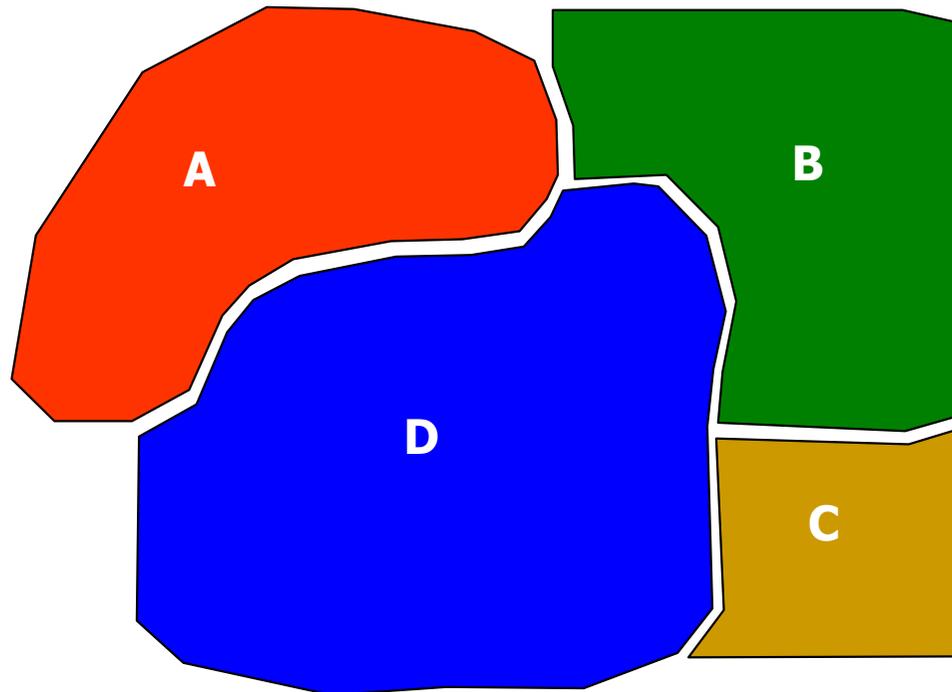
Network (rete)

Qual è il percorso migliore per raggiungere la stazione dall'hotel ?

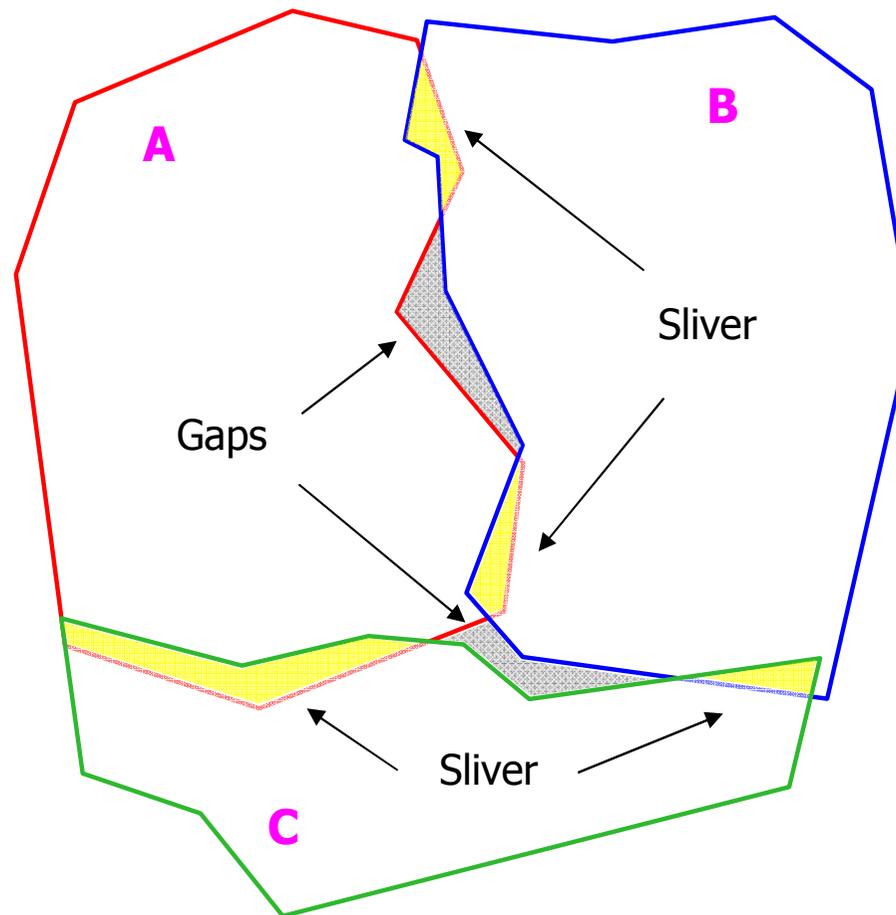
La Topologia garantisce anche la **coerenza geometrica** delle primitive geometriche.

Nella fase di generazione della Topologia è possibile individuare e quindi correggere una serie di errori solitamente prodotti durante la procedura di digitalizzazione da fonti cartografiche:

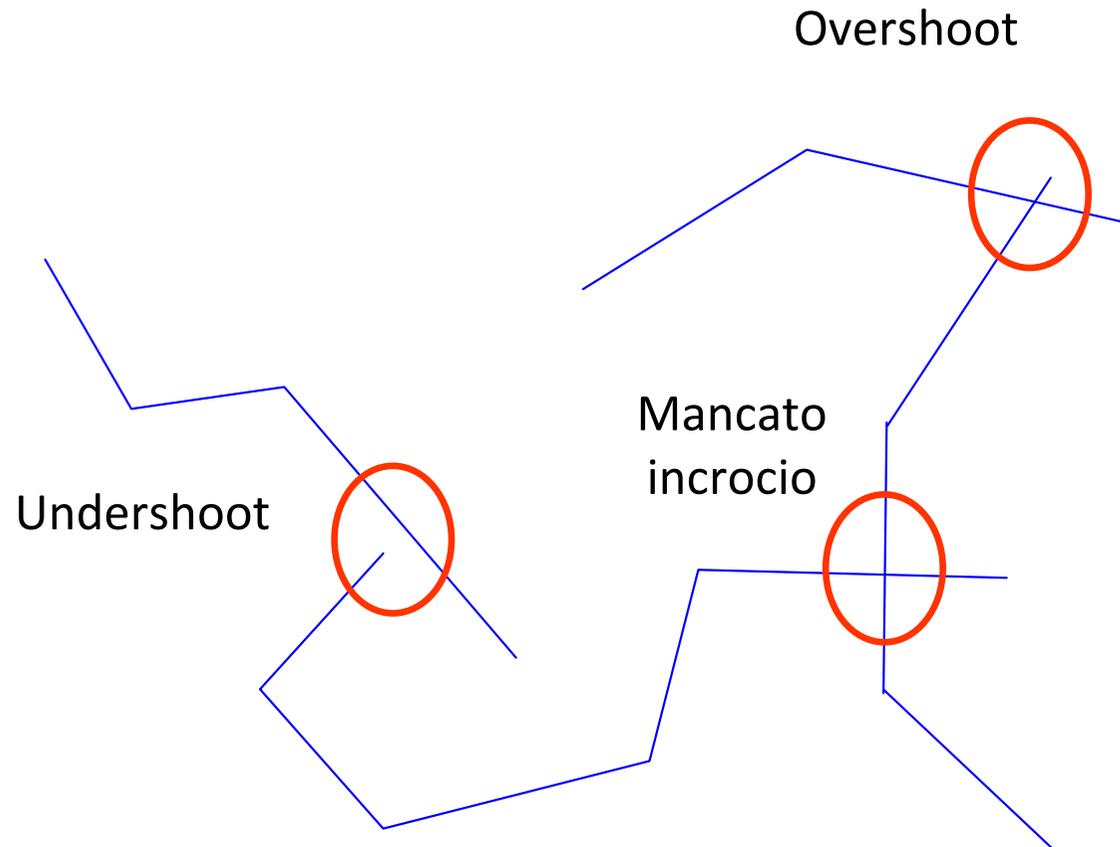
- linee doppie che separano due poligoni adiacenti;



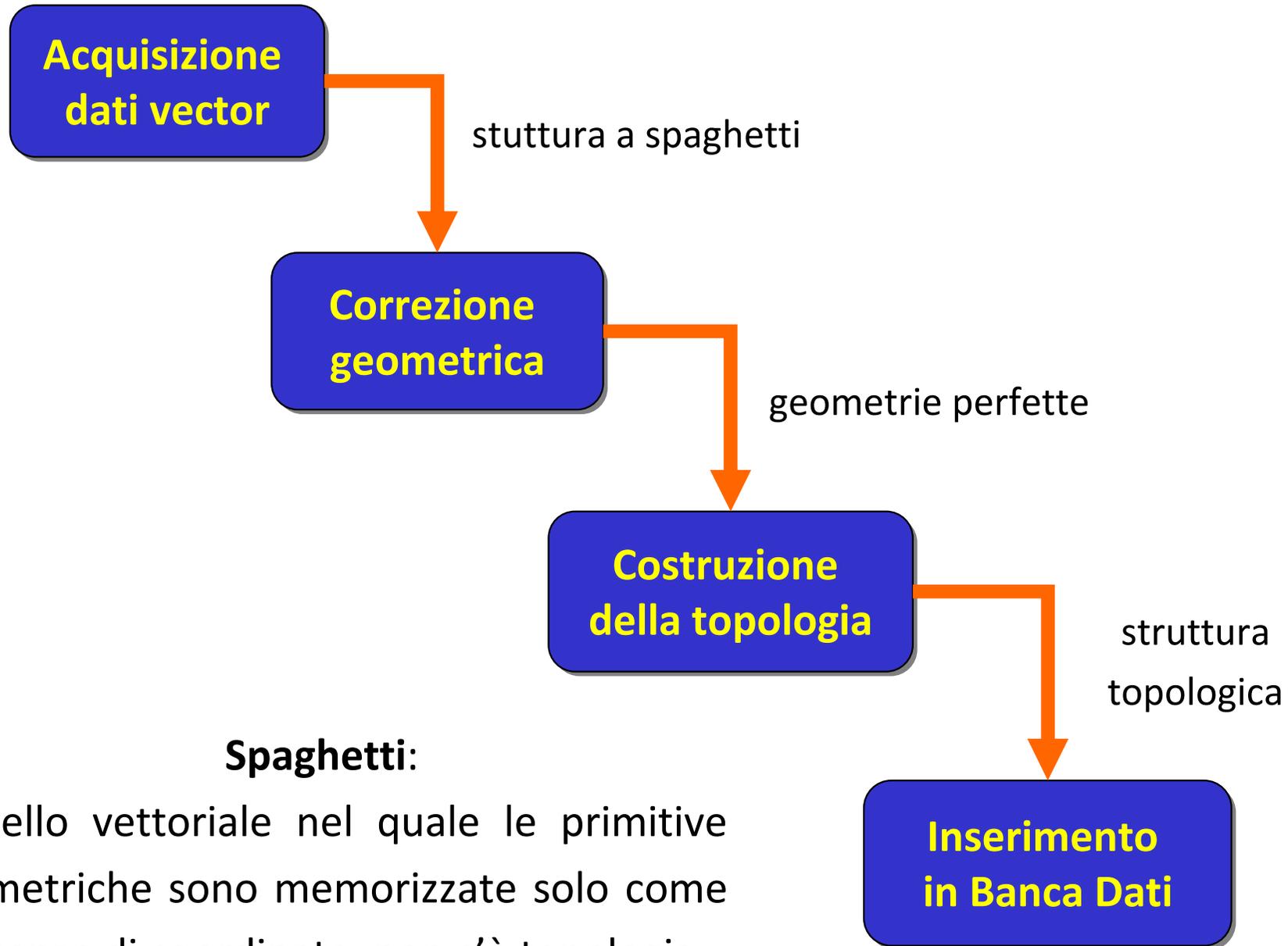
- mancata chiusura di poligoni;
- generazione di micropoligoni (*sliver polygons*) causati da erronee sovrapposizioni (*overlays*);
- generazione di “buchi” (*gaps*);



- linee che non si connettono (es. mancate intersezioni, ecc.)



Procedura di generazione della topologia



Spaghetti:

modello vettoriale nel quale le primitive geometriche sono memorizzate solo come sequenze di coordinate, non c'è topologia.

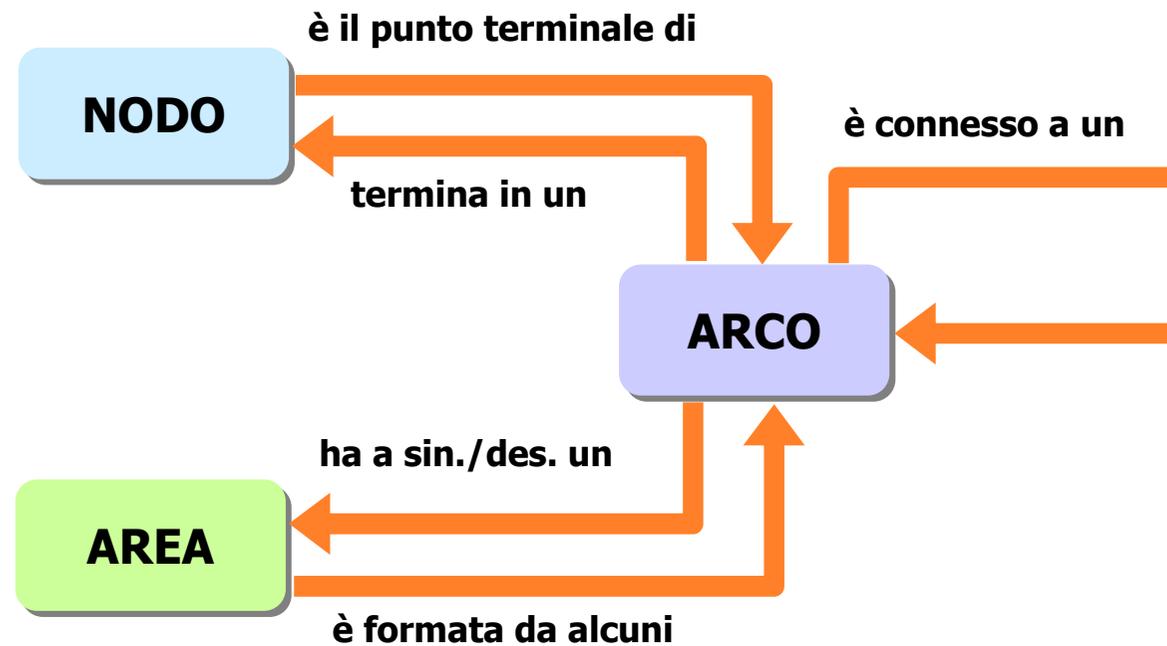
La correzione geometrica può avvenire in due modi:

- manualmente, tramite funzioni interattive di editing grafico (es. snap, completamento automatico, ecc.)
- automaticamente, tramite software appositi che controllano e correggono “a posteriori” un insieme di dati geometricamente non corretti.

Una volta ottenuti dati geometricamente perfetti (“topologicamente consistenti”) è possibile costruire delle **strutture tabellari** che descrivono le relazioni spaziali tra gli elementi geometrici.

Nel modello topologico valgono le seguenti corrispondenze:

- punto → **nodo**
- linea → **arco**
- poligono → **area**



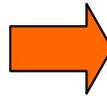
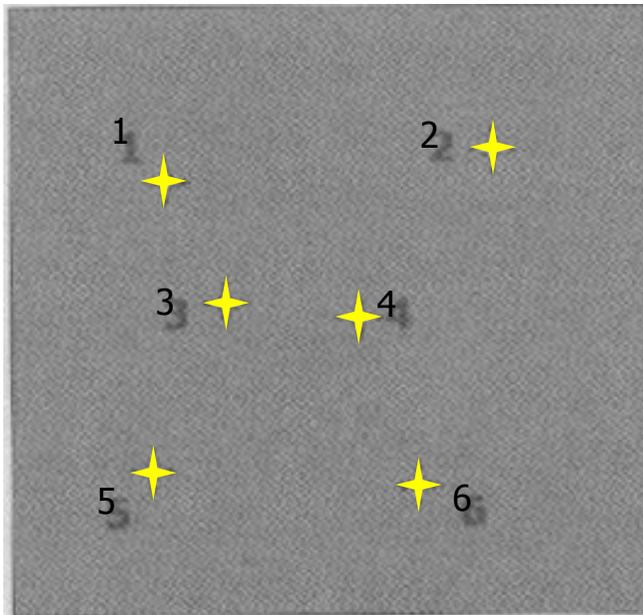
Schema delle relazioni topologiche maggiormente utilizzate

Non esiste un modo univoco per definire fisicamente un certo tipo di topologia;

- le relazioni definibili tra archi, nodi e aree dipendono dal fenomeno del mondo reale che viene modellato (es. per una rete stradale non vi saranno relazioni che riguardano le aree);
- ogni produttore di software GIS utilizza una o più di queste topologie, in formati specifici che in genere sono proprietari (es. coverage di ESRI).

La Topologia arco-nodo

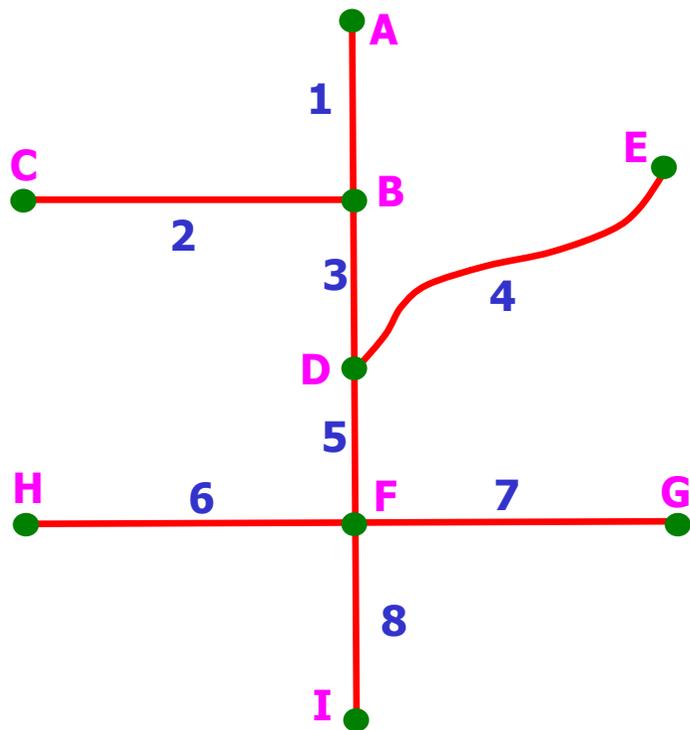
Alla primitiva **nodo** (definito dalle sue coordinate geografiche) viene associato un codice identificativo tramite il quale tutte le relative informazioni descrittive vengono legate al nodo stesso.



punto	X	Y
1	X1	Y1
2	X2	Y2
3	X3	Y3
4	X4	Y4
5	X5	Y5
6	X6	Y6

La topologia **arco** contiene:

- codice identificativo unico dell'oggetto per l'associazione degli attributi;
- i **nodi** (punti all'inizio e alla fine dell'arco);
- i **vertici** (punti intermedi dell'arco);
- le coordinate cartografiche di vertici e nodi;
- verso di percorrenza (*dal* nodo *al* nodo);
- informazione di connettività con altri archi.



Per definire gli archi e le relazioni topologiche si usano tre tabelle

arco	da nodo	a nodo
1	A	B
2	C	B
3	B	D
4	E	D
5	D	F
6	H	F
7	G	F
8	F	I

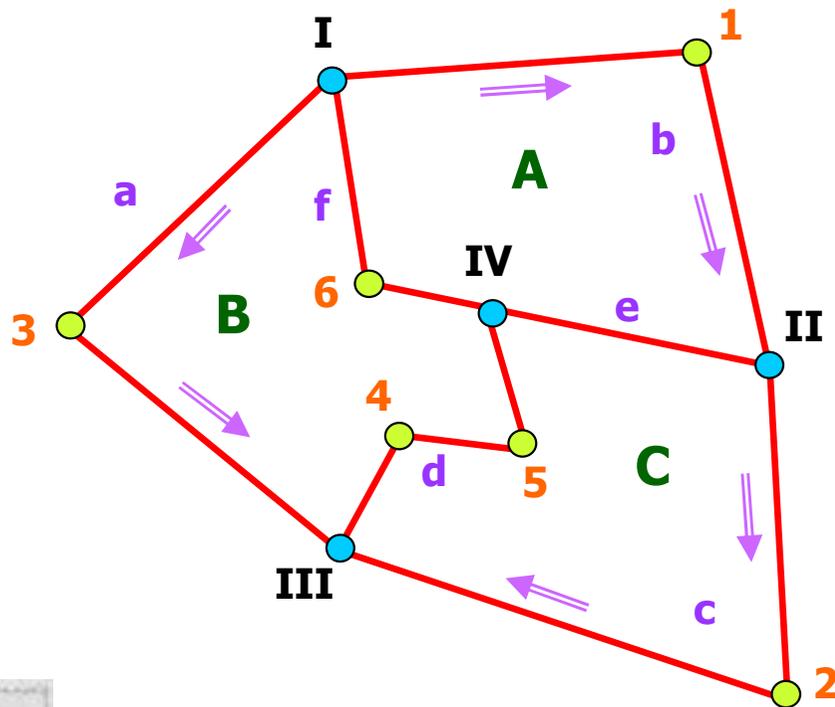
arco	coordinate punti
1	X1,Y1;X2,Y2
2	X1,Y1;X2,Y2
3	X1,Y1;X2,Y2
4	X1,Y1; .. ;Xn,Yn
5	X1,Y1;X2,Y2
6	X1,Y1;X2,Y2
7	X1,Y1;X2,Y2
8	X1,Y1;X2,Y2

nodo	connesso a
A	B
B	A,C,D
C	B
D	B,E,F
E	D
F	D,G,H,I
G	F
H	F
I	F

La topologia **area** si basa sulle seguenti **regole** (modello “*Full planar graph*”):

1. ogni arco ha due nodi
2. ogni arco divide due aree (destra e sinistra)
3. ogni area è circondata da archi e nodi
4. ogni nodo è circondato da aree e archi
5. gli archi si devono intersecare solo in corrispondenza dei nodi
6. “il dentro è a destra”, cioè camminando lungo l’arco nel suo verso l’area è alla nostra destra.

Gli archi comuni a due poligoni non sono duplicati: struttura dati più snella e più efficiente



⇒ Verso di percorrenza dell'arco

poly	archi
A	b,e,f
B	a,f,d
C	c,d,e

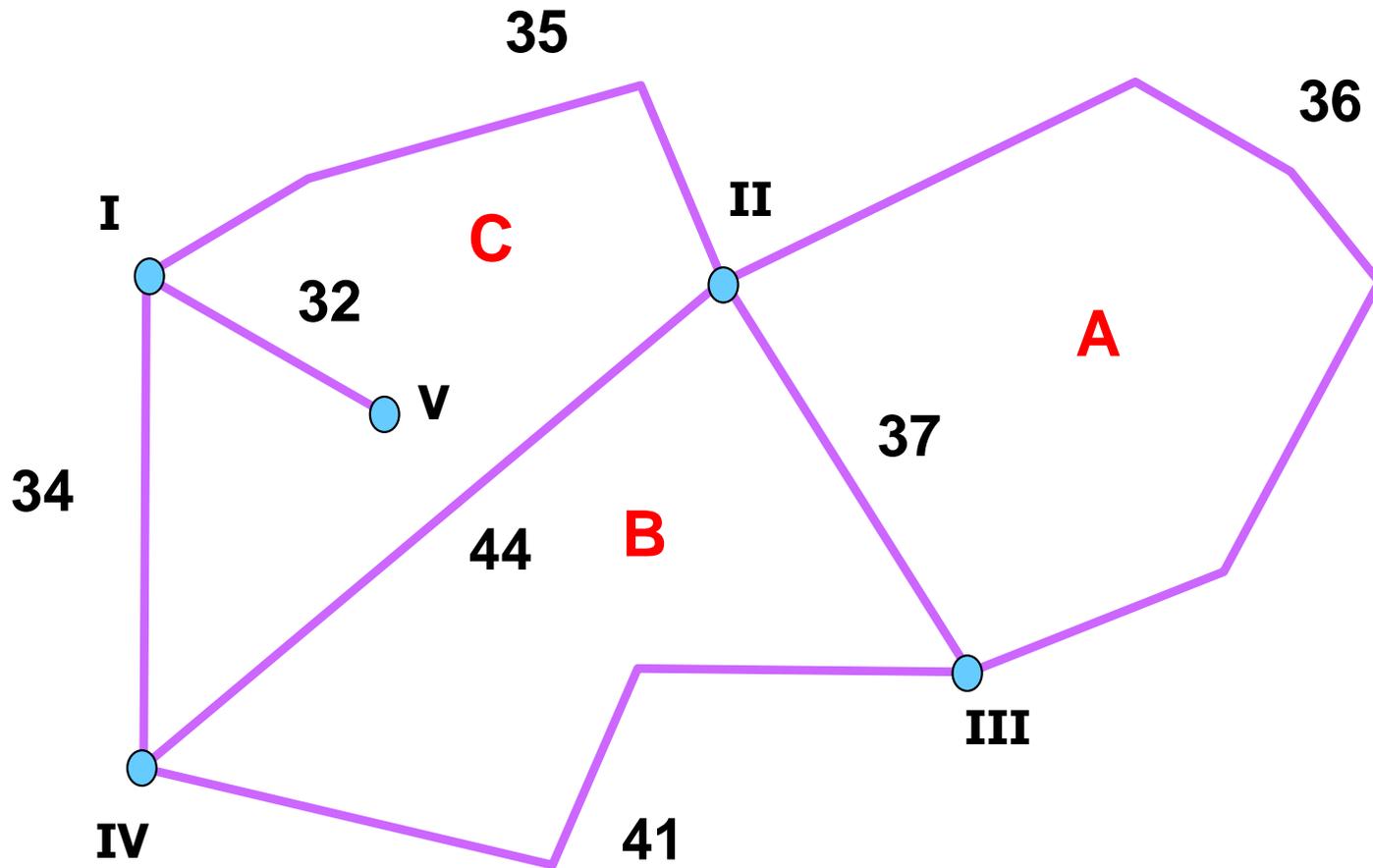
Anche le aree vengono definite tramite tre tabelle

arco	nodo o vertice	coordinate
a	I	x,y
	3	x,y
b	III	x,y
	I	x,y
	1	x,y
c	II	x,y
	2	x,y
	III	x,y
d	III	x,y
	4	x,y
	5	x,y
....
....

arco	da nodo	a nodo	poly destro	poly sinistro
a	I	III		B
b	I	II	A	
c	II	III	C	
d	III	IV	C	B
e	IV	II	C	A
f	IV	I	A	B

Esercizio

Costruire la tabella degli archi per l'insieme delle aree A, B e C riportate nella figura in basso, verificando, tramite tale tabella, l'incongruenza dell'arco 32.

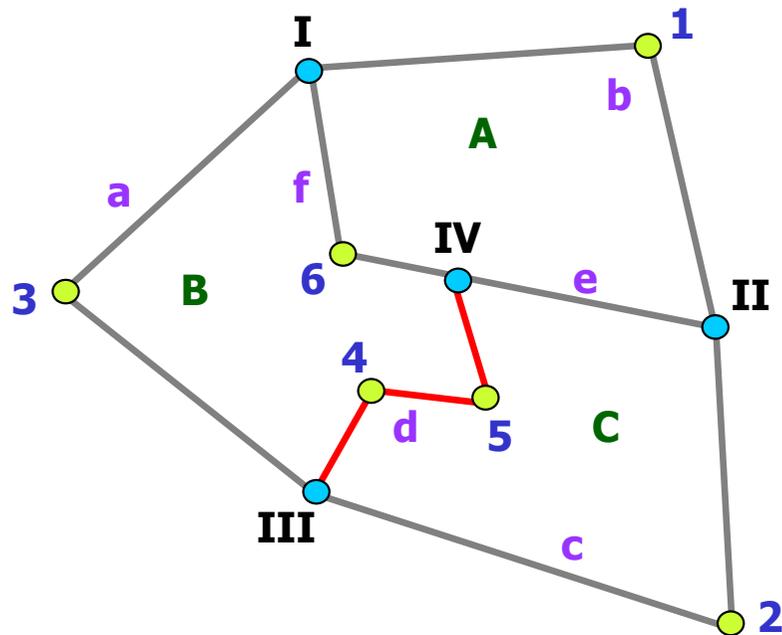


Note per l'esercizio

1. I nodi degli archi sono indicati con numeri romani; per costruire la topologia delle aree vanno indicati esplicitamente i vertici di singoli archi.
2. Per ogni arco va definito il verso di percorrenza: questo può essere scelto a piacere.
3. Indicare per ogni arco l'area (poligono) di destra e/o di sinistra.

La topologia arco-nodo consente di implementare in un GIS le relazioni spaziali di **connessione**, **adiacenza**, **unione**, **inclusione** e **intersezione**.

Connessione



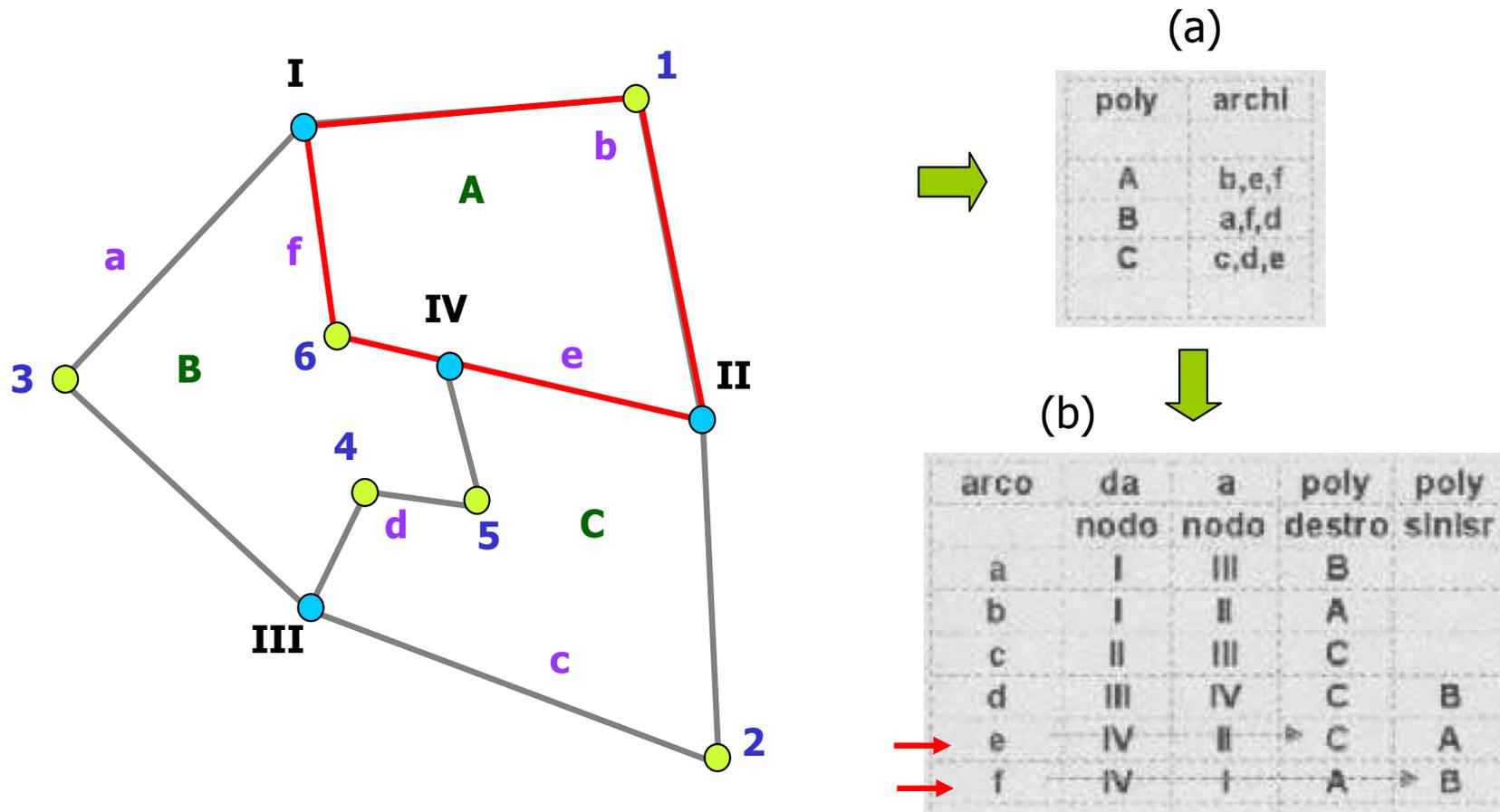
(a)

arco	da nodo	a nodo	poly destr	poly sinisr
a	I	III	B	
b	I	II	A	
c	II	III	C	
d	III	IV	C	B
e	IV	II	C	A
f	IV	I	A	B

Con quali archi è connesso l'arco "d" ?

Soluzione: basta controllare nella tabella (a) quali sono gli archi che hanno un nodo in comune con l'arco "d".

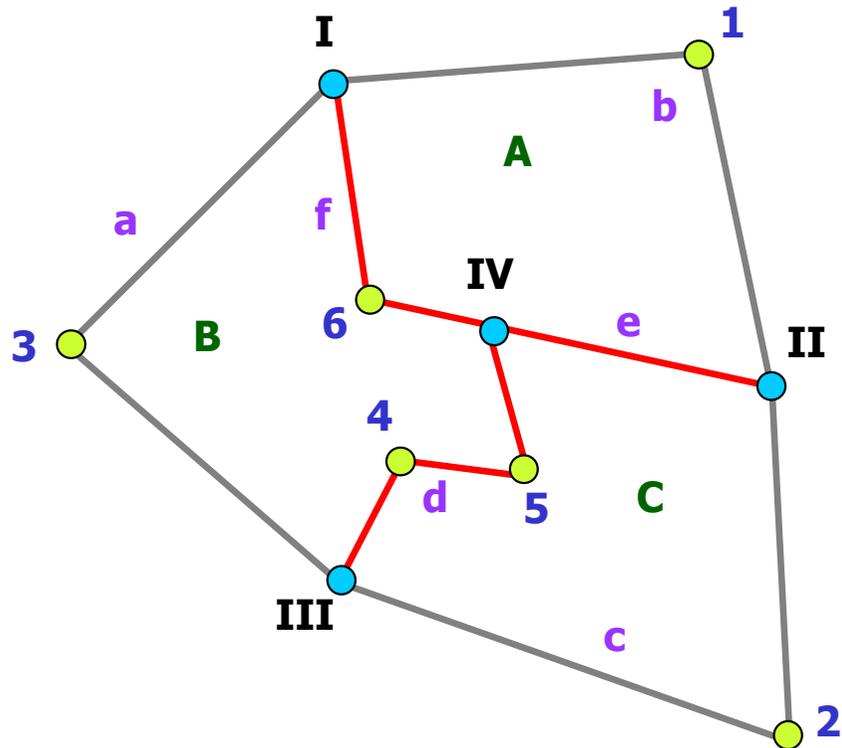
Adiacenza



Quali sono i poligoni adiacenti al poligono "A" ?

Soluzione: nella tabella (b) si controlla quale arco componente di A presenta alla sua destra o sinistra un altro poligono.

Unione



arco	da nodo	a nodo	poly destr	poly sinistr
a	I	III	B	
b	I	II	A	
c	II	III	C	
d	III	IV	C	B
e	IV	II	C	A
f	IV	I	A	B

Archi da eliminare

Eliminare gli archi che separano poligoni con lo stesso valore di un attributo (in questo esempio le tre aree A, B e C).

Soluzione: basta individuare nella tabella della topologia degli archi quelli che hanno a destra e a sinistra gli stessi poligoni.

Inclusione

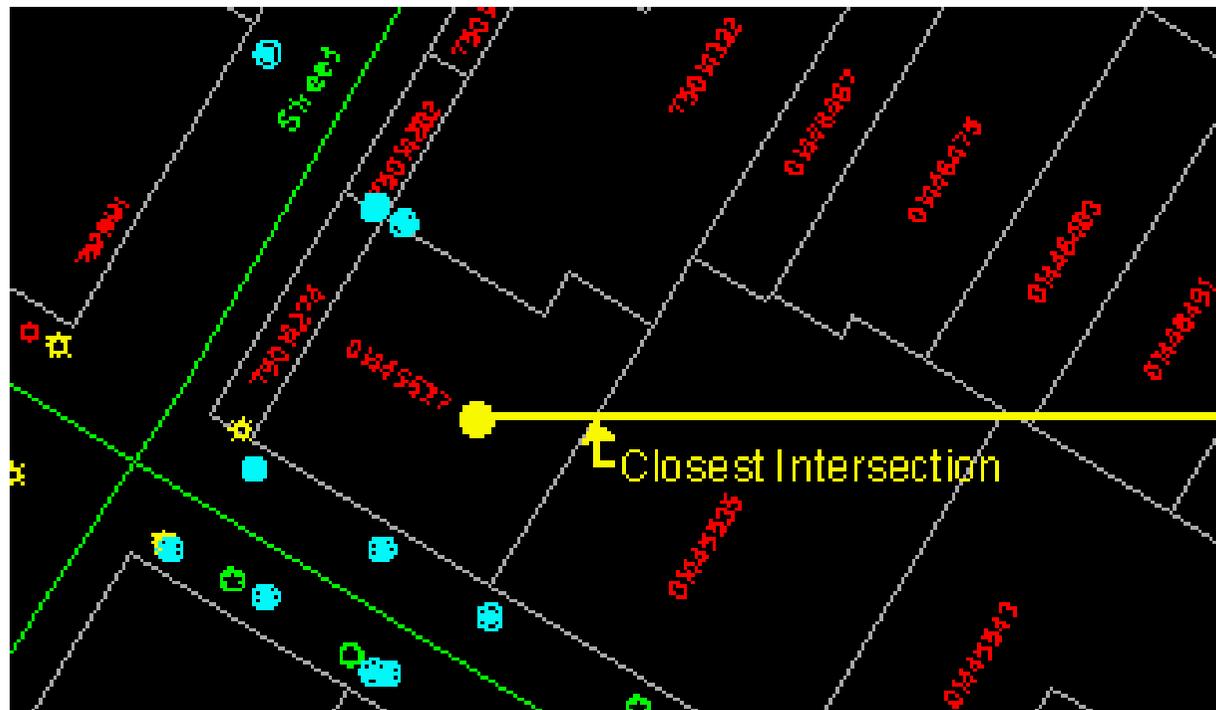
Dato un punto ed un insieme di poligoni, individuare il poligono che contiene completamente il punto (*point-in-polygon search*)



Algoritmo:

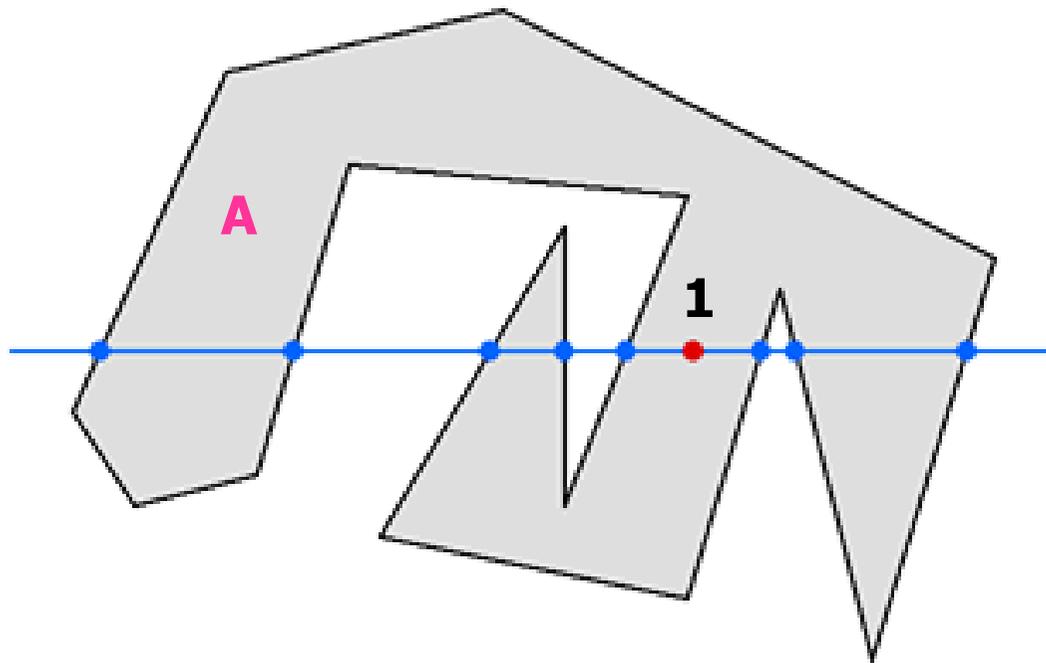
1. Si estende una retta a destra e sinistra del punto, parallelamente ad uno dei due assi della vista (verticale o orizzontale)

2. Si calcolano tutte le intersezioni di tale retta con gli archi associati ai vari poligoni e si seleziona l'arco più vicino al punto in questione.
3. Si determina se il punto cade a sinistra o a destra di tale arco: a seconda del lato si individua nella tabella del database topologico il corrispondente poligono.



Inclusione per via geometrica

Il problema del **punto-in-poligono** può essere risolto non solo sfruttando le relazioni topologiche ma anche in base a considerazioni geometriche.



Ad esempio volendo stabilire se il punto 1 cade o meno all'interno del poligono A si può ricorrere al seguente algoritmo:

1. Si verifica innanzitutto se il punto 1 ricade o meno all'interno del rettangolo (bounding box) che contiene il poligono.
2. Se il punto 1 cade all'esterno del bounding box allora il punto è sicuramente esterno al poligono, nel caso contrario può essere all'interno o all'esterno, in base alla forma del poligono stesso.
3. Si considera quindi una linea estesa da tale punto parallelamente ad uno dei due assi coordinati.
4. Si calcolano le intersezioni della linea con i lati del poligono in una delle due direzioni (destra o sinistra).
5. Si conta quindi il numero di intersezioni: se queste sono dispari il punto è interno, se sono pari il punto giace all'esterno del poligono.