Georeferenziazione dei dati e topologie

Tecniche di riferimento geografico e di strutturazione dell'informazione

Corso di Sistemi Informativi Territoriali Avanzati – UD11

prof. Giovanni Borga

Georeferenziazione dei dati

Concetto di georeferenziazione

Georeferenziare (o georiferire) significa attribuire ad un dato un'informazione relativa alla sua **posizione geografica**.

In generale alla semplice posizione si **associa anche una forma geometrica** che viene definita per mezzo delle primitive euclidee. Nei casi di primitive non adimensionali, la posizione geografica viene attribuita per ciascun elemento della primitiva (tutti i punti e i segmenti).

La georeferenziazione si esprime in base ad un determinato Sistema di Riferimento Geografico.

Georeferenziazione nativa, diretta e indiretta

Alcuni dati vengono georeferenziati nel momento in cui vengono generati. Si può parlare in questo caso di **georeferenziazione nativa**.

Alcuni dati, pur essendo digitali, sono espressi con delle coordinate che non si riferiscono ad alcun Sistema di Riferimento. Se i dati sono geometricamente corretti, è possibile georeferenziarli con operazioni di posizionamento, roto-traslazione e/o scalatura. Parliamo in questo caso di **georeferenziazione diretta**.

Infine i dati possono essere riferiti al territorio mediante un passaggio intermedio, ovvero il riferimento al territorio non viene attribuito direttamente al dato stesso ma viene creata una correlazione con un altro dato che invece è già georeferenziato.
Possiamo parlare di **georeferenziazione indiretta**, quella che nella maggioranza dei casi si effettua tramite join alfanumerico all'interno di un Sistema Informativo Geografico.

Georeferenziazione nativa, diretta e indiretta

Cambiare il Sistema di Riferimento di un dato significa di fatto «rifare la georeferenziazione».

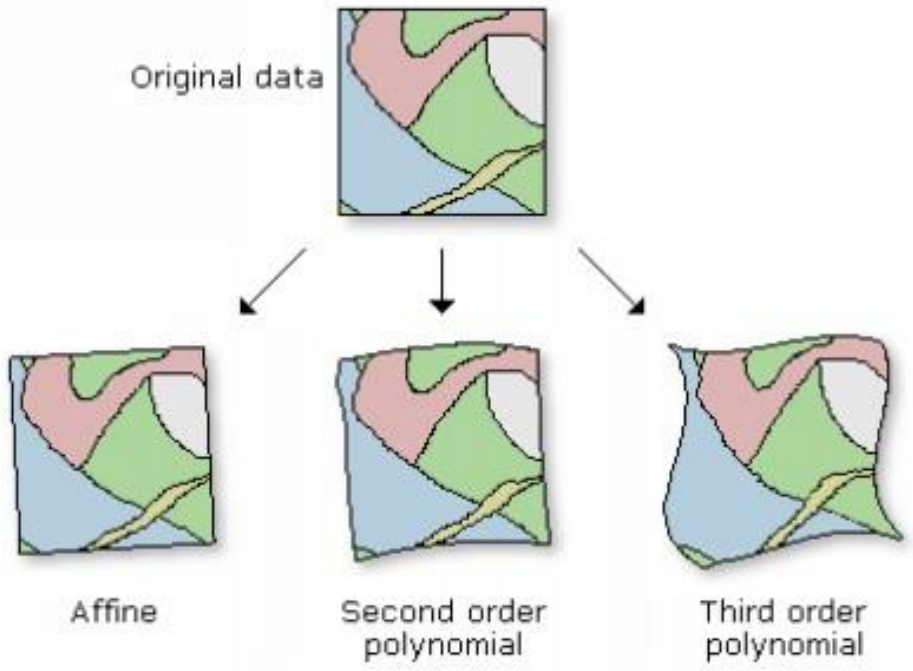
Alcuni Sistemi di Riferimento non hanno una definizione matematica che permette una riproiezione omogenea univoca.

E' il caso del sistema di riferimento del catasto italiano che è basato sulla rappresentazione di Cassini Soldner, policentrica con 849 diverse origni

Georeferenziazione nativa, diretta e indiretta

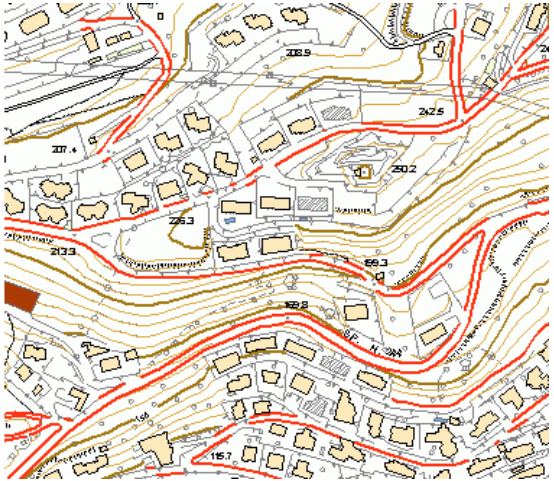
La georeferenziazione diretta di **dati non geometricamente corretti** può essere operata utilizzando anziché la roto-traslazione e scalatura, le tecniche del **rubber-sheeting.**

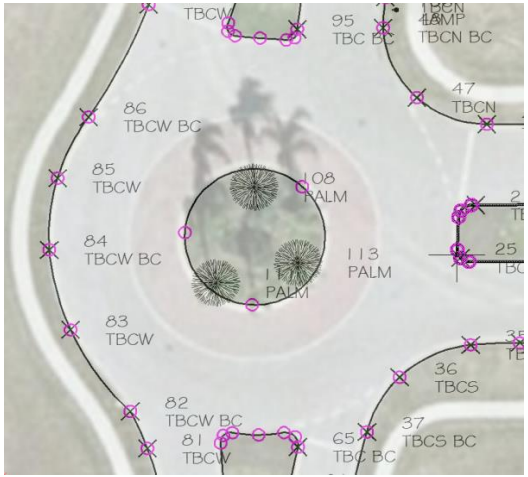
Mentre con la roto-traslazione e scalatura di un dato è possibile ricavare, dopo la georeferenziazione, degli estratti conformi al dato originario, con il rubber-sheeting le modificazioni geometriche portano an un nuovo dato che non è più conforme all'originario.



Georeferenziazione nativa

Gli esempi più tipici di dato nativamente georeferenziato sono le immagini da satellite, le cartografie restituite digitalmente o i dati rilevati con GPS.

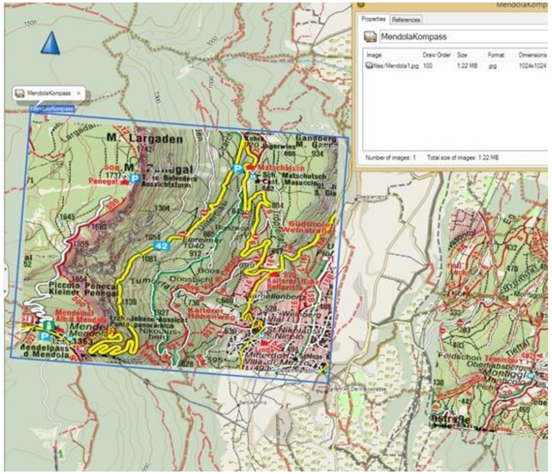


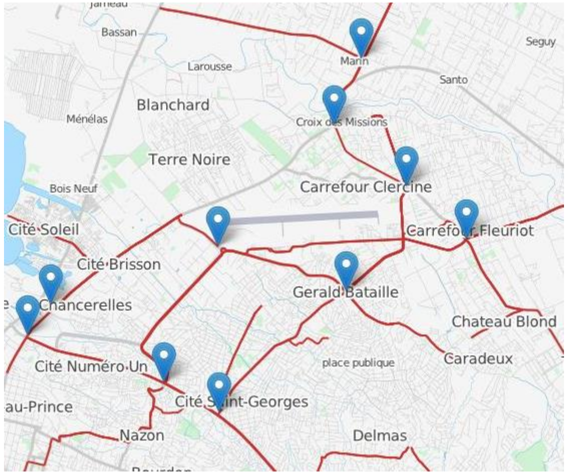


E' vero che nel processo produttivo del dato c'è una specifica fase con cui viene effettuata la georeferenziazione. Dal punto di vista dell'utilizzatore tuttavia possiamo assumere che il dato «nasca» georeferenziato.

Georeferenziazione diretta

Gli esempi tipici di dato direttamente georeferenziato riguardano le mappe acquisite con scanner o derivate da sistemi CAD, oppure il posizionamento puntuale di elementi.

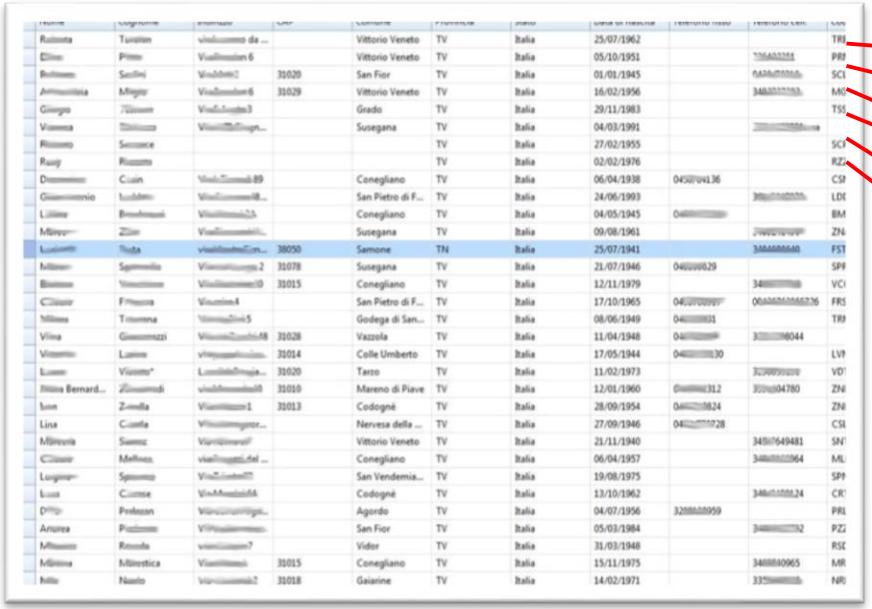




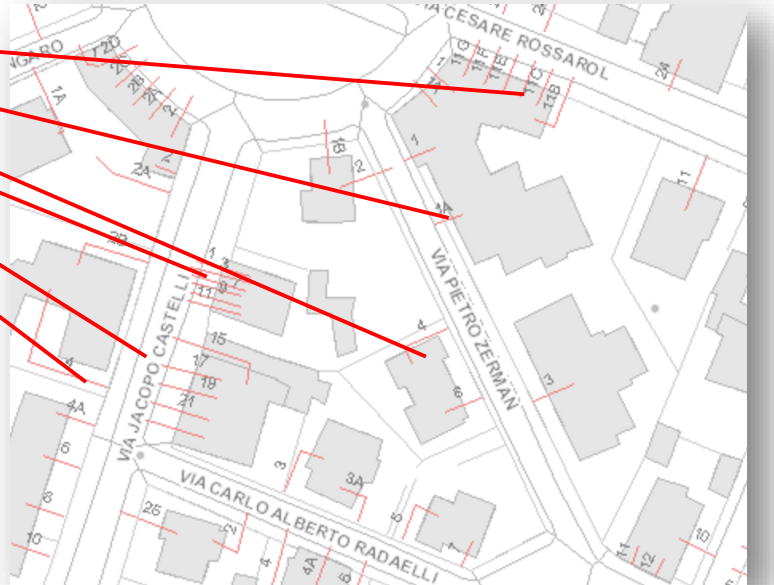
Nel caso dei dati raster il processo genera files di georeferenziazione come i TFW, mentre nel caso dei vettoriali viene semplicemente salvato il nuovo file, eventualmente con una conversione di formato (es da DXF a SHP)

Georeferenziazione indiretta

L'esempio principe della georeferenziazione indiretta è l'utilizzo di un layer di numeri civici georeferenziati. Ad esempio l'attribuzione dei residenti ad un territorio si effettua correlando l'anagrafe tabellare che contiene l'indirizzo con il layer degli indirizzi.



Roberta	Tonetto	[illegible]		Vittorio Veneto	TV	Italia	25/07/1962			TRN
Elisa	Pinto	Via Bonsaver 6		Vittorio Veneto	TV	Italia	05/10/1951		3356832351	PNT
Roberto	Sacchi	Via Dante 1	31020	San Fior	TV	Italia	01/01/1945		0438450966	SCC
Annamaria	Magro	Via Bonsaver 6	31029	Vittorio Veneto	TV	Italia	16/02/1956		3483337353	MGR
Giorgio	Visentin	Via Dante 3		Grado	TV	Italia	29/11/1983			TSN
Vanessa	Tonetto	Via Bonsaver 6		Susegana	TV	Italia	04/03/1991		[illegible]	
Rosario	Saccoccia	[illegible]			TV	Italia	27/02/1955			SCC
Rudy	Rizzetto	[illegible]			TV	Italia	02/02/1976			RZZ
Domenico	Cusin	Via Dante 89		Conegliano	TV	Italia	06/04/1938	0438204136		CSN
Giacomino	Luddi	Via Dante 8		San Pietro di F...	TV	Italia	24/06/1993		3662[illegible]	LDD
Liliana	Bevilacqua	Via Dante 15		Conegliano	TV	Italia	04/05/1945	0438[illegible]		BVL
Marco	Zin	Via Dante 6		Susegana	TV	Italia	09/08/1961		2480[illegible]	ZNM
Luciano	Tuia	via Dante 2	38050	Semone	TN	Italia	25/07/1941		3464666640	FSTL
Milena	Sgarbossa	Via Dante 2	31078	Susegana	TV	Italia	21/07/1946	0438200829		SPS
Bianca	Visentin	Via Dante 10	31015	Conegliano	TV	Italia	12/11/1979		3483[illegible]	VCN
Chiara	Fiorica	Via Dante 4		San Pietro di F...	TV	Italia	17/10/1965	0438[illegible]	0438[illegible]6	FRC
Milena	Tiburtina	Via Dante 5		Godega di San...	TV	Italia	08/06/1949	0438[illegible]		TRB
Vilma	Giacomazzi	Via Dante 18	31028	Vazzola	TV	Italia	11/04/1948	0438[illegible]	3[illegible]6044	
Valentino	Lazzaro	Via Dante 30	31014	Colle Umberto	TV	Italia	17/05/1944	0438[illegible]30		LVT
Luciano	Visentin*	Via Dante 3	31020	Tarzo	TV	Italia	11/02/1973		3[illegible]	VDT
Milena Bernard...	Zanardi	Via Dante 8	31010	Mareno di Piave	TV	Italia	12/01/1960	0[illegible]312	3[illegible]04780	ZNR
Ivan	Zanella	Via Dante 1	31013	Codognè	TV	Italia	28/09/1954	0438[illegible]824		ZNL
Lisa	Cunial	Via Dante 9		Nervesa della ...	TV	Italia	27/09/1946	0438[illegible]728		CNL
Manuela	Sanna	Via Dante 7		Vittorio Veneto	TV	Italia	21/11/1940		3458649481	SNN
Chiara	Meneghel	Via Dante 2		Conegliano	TV	Italia	06/04/1957		3486[illegible]064	MLG
Luigina	Spanna	Via Dante 11		San Vendemia...	TV	Italia	19/08/1975			SPN
Luca	Cunial	Via Dante 16		Codognè	TV	Italia	13/10/1962		348[illegible]124	CNL
Dario	Polesan	Via Dante 9		Agordo	TV	Italia	04/07/1956	3288[illegible]959		PLS
Arianna	Piccinin	Via Dante 4		San Fior	TV	Italia	05/03/1984		3[illegible]52	PZZ
Massimo	Rinaldi	Via Dante 7		Vidor	TV	Italia	31/03/1948			RNL
Milvina	Milivetica	Via Dante 1	31015	Conegliano	TV	Italia	15/11/1975		3488[illegible]965	MLV
Nilo	Nanto	Via Dante 2	31018	Gaiarine	TV	Italia	14/02/1971		3[illegible]	NNT



La potenzialità della georeferenziazione degli indirizzi

La tabella che segue riporta un semplice indirizzario, dove l'insieme di attributi Via, Numero_Civico e Città individua sul territorio un individuo, non tramite coordinate, bensì tramite un **sistema di riferimento indiretto** che può essere utilizzato direttamente da chi conosce la Città (mappa mentale).

Num. record	Cognome e nome	Via	Num. Civico	Città	Età
1	Pierini Giuliana	Ottone Rosai	3	Pisa	27
2	Archi Rita	della Repubblica	5	Pisa	35
3	Bargiacchi Eneo	Ottone Rosai	5	Pisa	28
4	Termia Emanuele	Ottone Rosai	17	Pisa	52
5	Francia Paolo	del Mercato	4	Pisa	45

… ma può essere anche trasformato in coordinate conoscendo una mappa reale della città

La potenzialità della georeferenziazione degli indirizzi

Un layer che associa la codifica di un indirizzo (Via e Numero Civico) con delle primitive geometriche georeferenziate permette di **georeferenziare tutte le tabelle che contengono indirizzi**.

Quindi non solo l'anagrafe dei residenti, ma anche le aziende di un comune, i servizi, dati gestionali come bollette, consumi, tributi ecc.

Questi layers sono detti
Ecografici o Geovocabolari

Per queste ragioni questo è uno dei rilievi che viene più frequentemente eseguito; in alcuni casi ci si spinge fino al livello delle unità immobiliari interne.

Id	Via	n.	X	Y
35	Dante Alighieri	1	622100	4724090
36	Dante Alighieri	2	622160	4725001
38	Dante Alighieri	4	622291	4725117
39	Cesare Beccaria	5	622274	4724090
40	Cesare Beccaria	6	622158	4725167
42	Cesare Beccaria	8	622196	4725110

Join alfanumerico nella georeferenziazione indiretta

Nella maggioranza dei casi per operare la georeferenziazione indiretta si esegue un **join alfanumerico** tra gli attributi del layer ecografico e quelli del dataset da georeferenziare.

Id	Via	n.	X	Y
35	Dante Alighieri	1	622100	4724090
36	Dante Alighieri	2	622160	4725001
38	Dante Alighieri	4	622291	4725117
39	Cesare Beccaria	5	622274	4724090
40	Cesare Beccaria	6	622158	4725167
42	Cesare Beccaria	8	622196	4725110

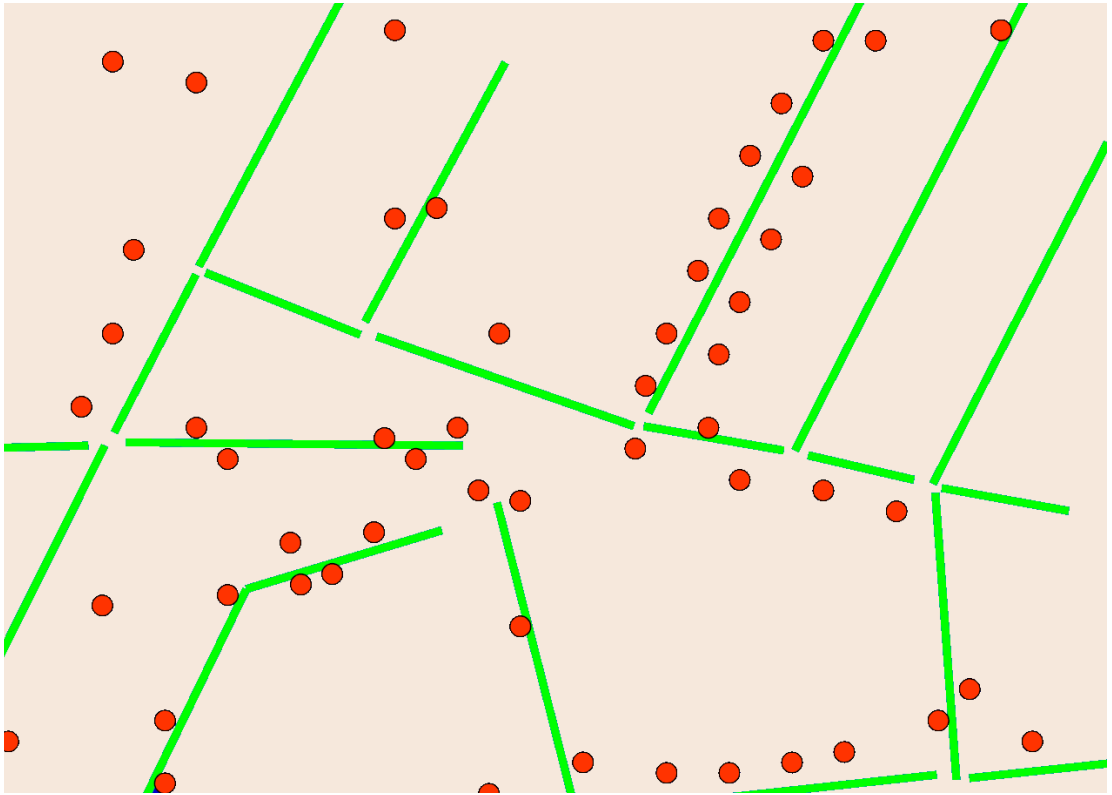
Id	Via &n.		X	Y
35	Dante Alighieri	1	622100	4724090
36	Dante Alighieri	2	622160	4725001
38	Dante Alighieri	4	622291	4725117
39	Cesare Beccaria	5	622274	4724090
40	Cesare Beccaria	6	622158	4725167
42	Cesare Beccaria	8	622196	4725110

Sono molto pochi i software che permettono di creare un join alfanumerico su più campi. In genere è necessario **unire i due (o più) campi che compongono** l'indirizzo in un unico campo su entrambe le tabelle/layer. *(E' opportuno creare un campo ad hoc per questo uso meglio utilizzando codici via numerici e separatori al posto di spazi e null).*

Strutture di dati per la georeferenziazione degli indirizzi

Un esempio di modellazione della componente geografica **in ragione dell'applicazione** ci è dato dagli stradari per i sistemi di navigazione satellitare.

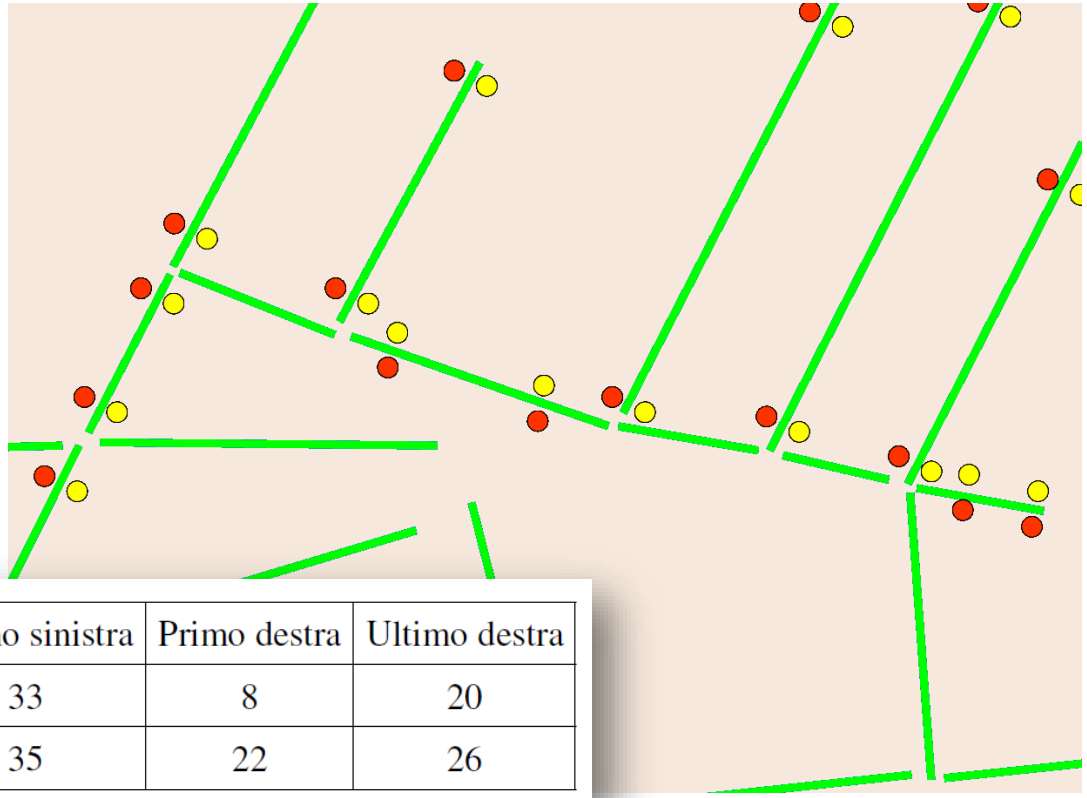
Un ecografico puntuale non dà particolari vantaggi alla navigazione appesantendo notevolmente l'applicazione che normalmente si usa su dispositivi mobili con performance ridotte.



Strutture di dati per la georeferenziazione degli indirizzi

L'accuratezza richiesta dai navigatori non è elevatissima. La tolleranza offerta da una modellazione del dato come attributo degli archi del grafo è sufficiente.

In questo caso la posizione relativa di un numero civico si ricava per interpolazione sull'estensione di ogni arco.



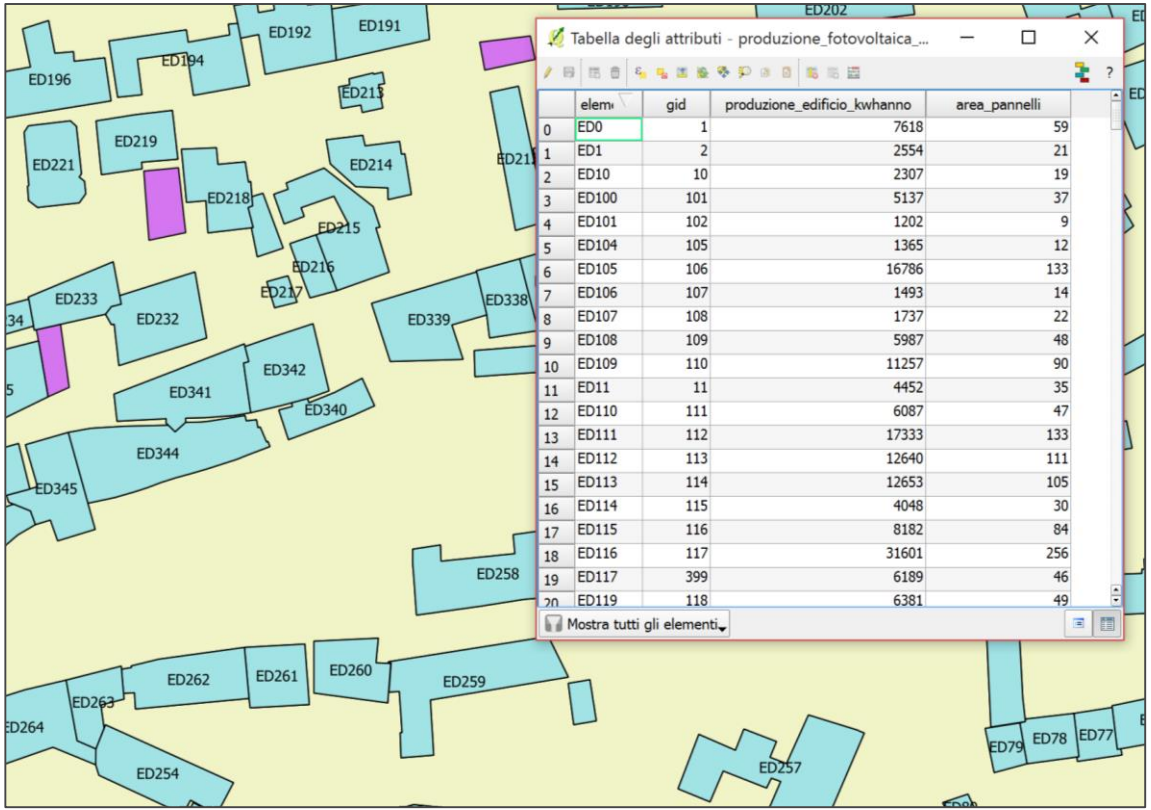
Linea -------	Id	NomeVia	Primo sinistra	Ultimo sinistra	Primo destra	Ultimo destra
Linea -------	5	Rosai	13	33	8	20
Linea -------	5	Rosai	35	35	22	26

Altre codifiche di georeferenziazione indiretta

Gli indirizzi non sono i soli codici con cui si può georeferenziare indirettamente dei dati.

In generale qualsiasi chiave primaria di un layer può essere utilizzata per correlare due dataset.

Anche gli identificativi catastali sono molto usati. Molto frequentemente inoltre si usano dei codici semplici (non catastali) per identificare edifici in mappa con cui si georeferenziano dati associati ad essi.



	elem	gid	produzione_edificio_kwhanno	area_pannelli
0	ED0	1	7618	59
1	ED1	2	2554	21
2	ED10	10	2307	19
3	ED100	101	5137	37
4	ED101	102	1202	9
5	ED104	105	1365	12
6	ED105	106	16786	133
7	ED106	107	1493	14
8	ED107	108	1737	22
9	ED108	109	5987	48
10	ED109	110	11257	90
11	ED11	11	4452	35
12	ED110	111	6087	47
13	ED111	112	17333	133
14	ED112	113	12640	111
15	ED113	114	12653	105
16	ED114	115	4048	30
17	ED115	116	8182	84
18	ED116	117	31601	256
19	ED117	399	6189	46
20	ED119	118	6381	49

Strutturazione dell'informazione geografica

Le tecniche di georeferenziazione dei dati sono delle forme di strutturazione delle informazioni territoriali relativamente basilari; queste tecniche infatti **non considerano le relazioni tra gli elementi presenti nello stesso livello** ma sono orientate semplicemente a consentire il confronto tra livelli diversi.

Un livello superiore di strutturazione interna deriva dalla possibilità di **gestire le relazioni tra gli elementi appartenenti ad uno stesso livello** in modo da aumentare l'efficienza gestionale e permettere determinati tipi di analisi.

Parliamo delle topologie

Topologie

Cos'è una topologia

Si dice topologia una sovrastruttura ridondante che esplicita e codifica relazioni spaziali tra entità diverse.

In generale una topologia è finalizzata a due obiettivi:

- Permettere elaborazioni più efficienti
- Garantire la coerenza geometrica nelle informazioni

Sempre in linea generale una topologia rende relativamente più pesante la preparazione dei dati.

Cos'è una topologia

In una topologia si parla di **primitive topologiche**.

I rapporti tra le primitive geometriche e le primitive topologiche sono i seguenti:

- I PUNTI dove convergono linee si chiamano NODI
- Le LINEE che dividono aree si chiamano ARCHI
- Le AREE si chiamano "face" in inglese, in italiano AREE o REGIONI

Qualità geometrica e qualità topologica

Qualità geometrica e qualità topologica sono due aspetti sostanzialmente diversi.

La **qualità geometrica** è una caratteristica del dato che è tanto più elevata **quanto più la forma modellata si avvicina alla forma reale** dell'oggetto modellato. La qualità geometrica ha a che fare con parametri quantitativi come ad esempio la tolleranza nell'errore.

La **qualità topologica** ha invece a che fare con la **coerenza del sistema di relazioni** presente nell'insieme modellato e la stessa coerenza nell'insieme degli oggetti reali.

Le due qualità riferite ad uno stesso dato possono avere un andamento assolutamente indipendente.

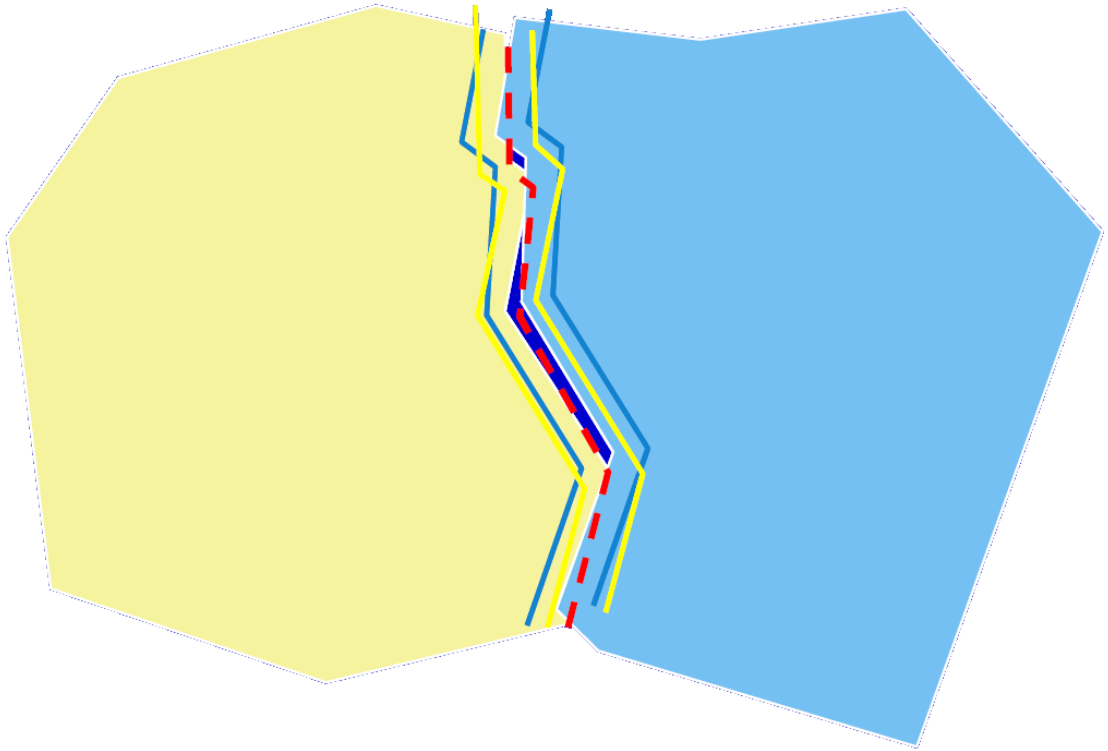
Qualità geometrica e qualità topologica

Quando abbiamo geometrie modellate con grande accuratezza, lo scarto tra i vertici delle forme modellate e i vertici reali è molto ridotto.

Le tolleranze sono molto basse.

Due poligoni modellati molto accuratamente possono avere delle incongruenze che rispettano le tolleranze pur essendo degli «errori».

Abbiamo dunque qualità geometrica ma non qualità topologica.

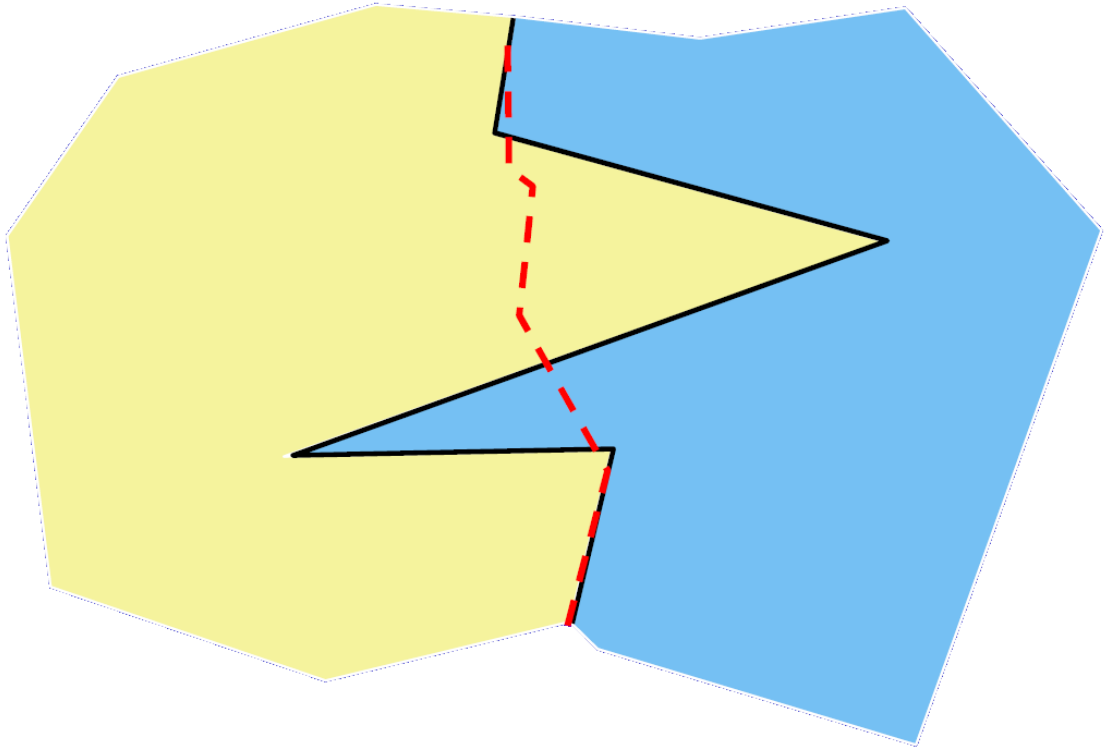


Qualità geometrica e qualità topologica

Potremmo invece avere geometrie modellate perfettamente coerenti ma incongruenze geometriche che differenziano sostanzialmente le forme modellate da quelle reali.

Tecnicamente non siamo in presenza di «errori», ma dal punto di vista semantico del dato la qualità è bassa.

Abbiamo qui qualità topologica ma non qualità geometrica.



Vantaggi dell'impiego delle topologie

Perché dunque impiegare le topologie nella gestione di dati territoriali?

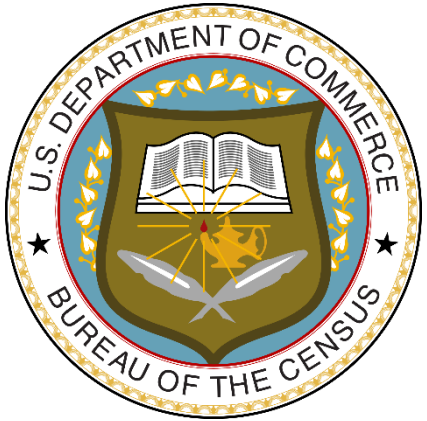
Se prendiamo come esempio delle tabelle che descrivono aree è possibile **svolgere più efficacemente e in modo estremamente dinamico alcune tipiche operazioni** come:

- verificare **adiacenze** tra aree
- operare **unioni** tra aree
- preparare **campiture**
- calcolare **aree e perimetri**
- calcolare **intersezioni**

Tutte le operazioni possono essere svolte **senza ricorrere a strumenti di geoprocessing** o field calculation, ma semplicemente lavorando sulle tabelle di relazione

La consistenza topologica

Le regole per la consistenza topologica sono state per la prima volta definite dall' U.S.Census Bureau:



- ***ogni arco ha due nodi***
- ***ogni arco divide due aree***
- ***ogni area è circondata da archi e nodi***
- ***ogni nodo è circondato da aree e archi***
- ***tutte le intersezioni sono nodi***

Modelli topologici e problematiche

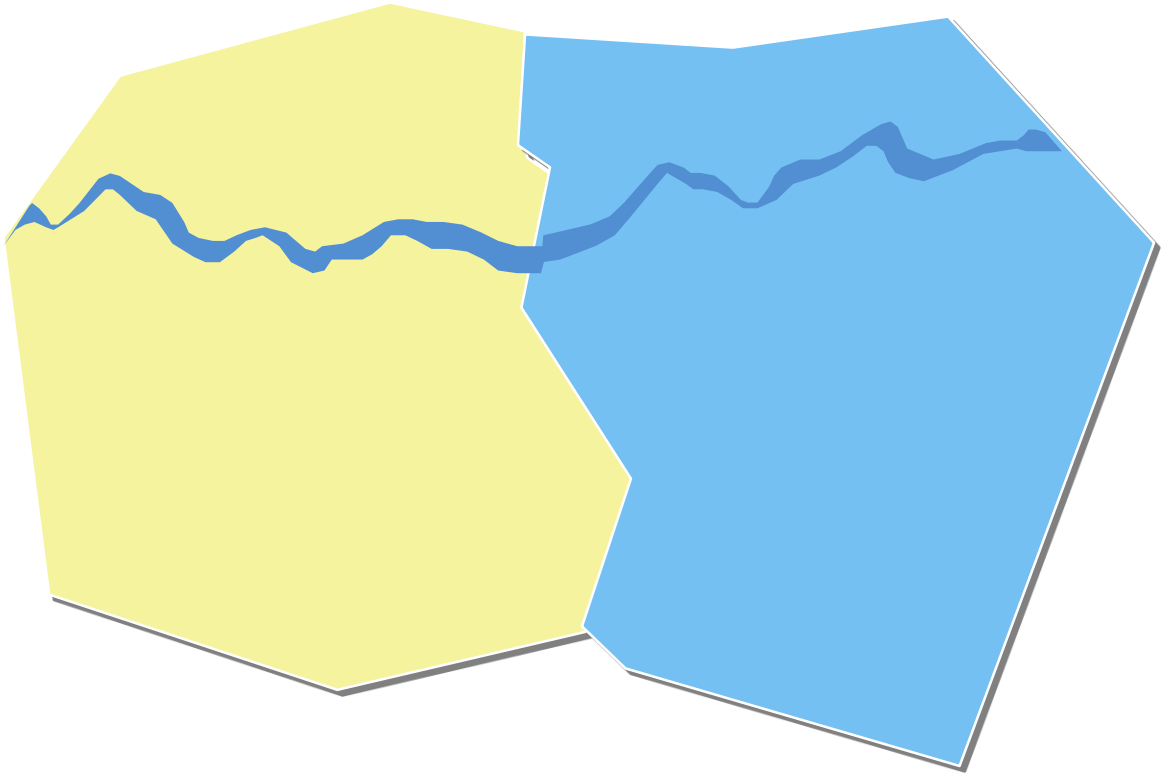
I problemi relativi alla costruzione di topologie sono riconducibili a due aspetti:

- **incoerenza geometrica**
- **incertezza geometrica**

Nella preparazione dei dati per la costruzione di topologie occorre eliminare queste problematiche con processi di bonifica.

Incoerenza geometrica

L'adiacenza perfetta tra due aree potrebbe non risultare da un analisi numerica, anche se visivamente le aree appaiono combaciare

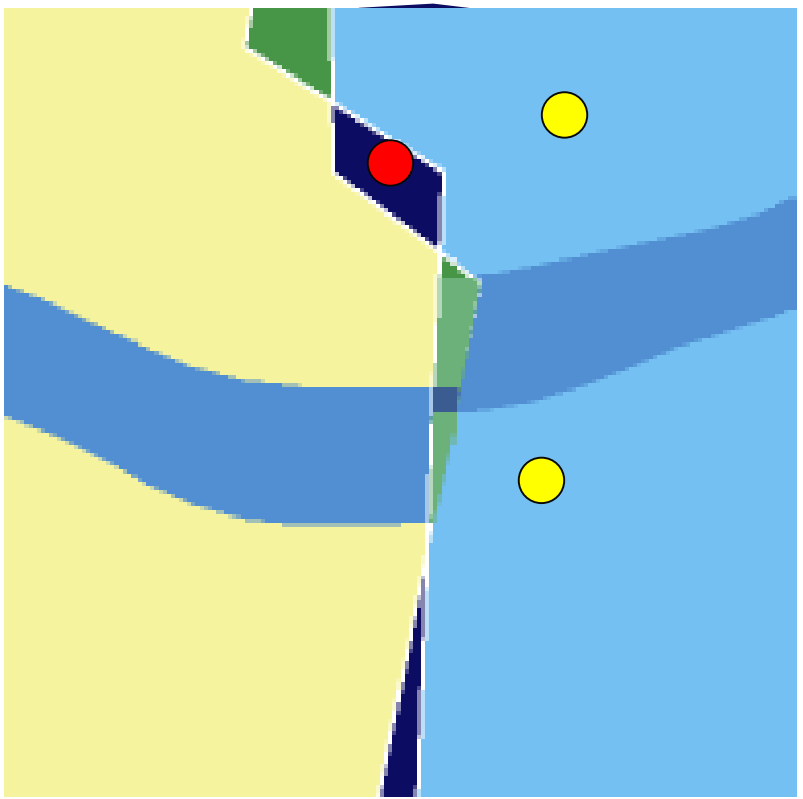


Incoerenza geometrica

Ingrandendo la zona di confine appaiono incongruenze come sovrapposizioni o vuoti.

Incoerenza geometrica

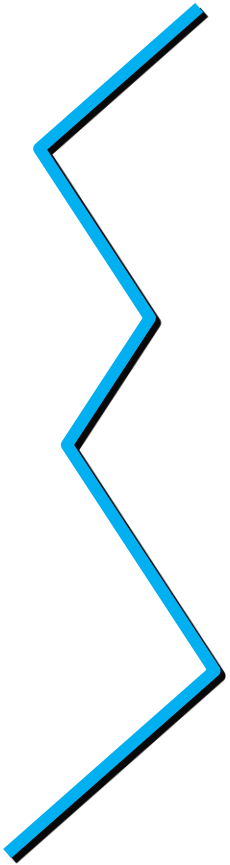
L'incoerenza tra le due aree è in genere molto piccola e spesso irrilevante in una fase di disegno in quanto inferiore allo spessore del tratto della penna; tuttavia a livello informatico questa incoerenza non è tollerata perché può portare a risultati contraddittori. Ad esempio un oggetto molto piccolo
(un pozzo, un traliccio, ecc.) vicino al confine potrebbe risultare, a seguito di una procedura di calcolo, come appartenente ad ambedue i Comuni, o a nessuno dei due



Incertezza geometrica

Il bordo di un'area non porta informazioni su qual è la parte interna dell'area …

l'area è
da questa parte ...



o da
quest'altra ?

Incertezza geometrica

Soltanto l'aggiunta di **ulteriori elementi grafici** è in grado di farci capire dove è la parte interna dell'area.

l'area è da questa parte ...

Bonifica topologica

Nell'operare bonifiche bisogna aver chiara la

gerarchia dei nodi

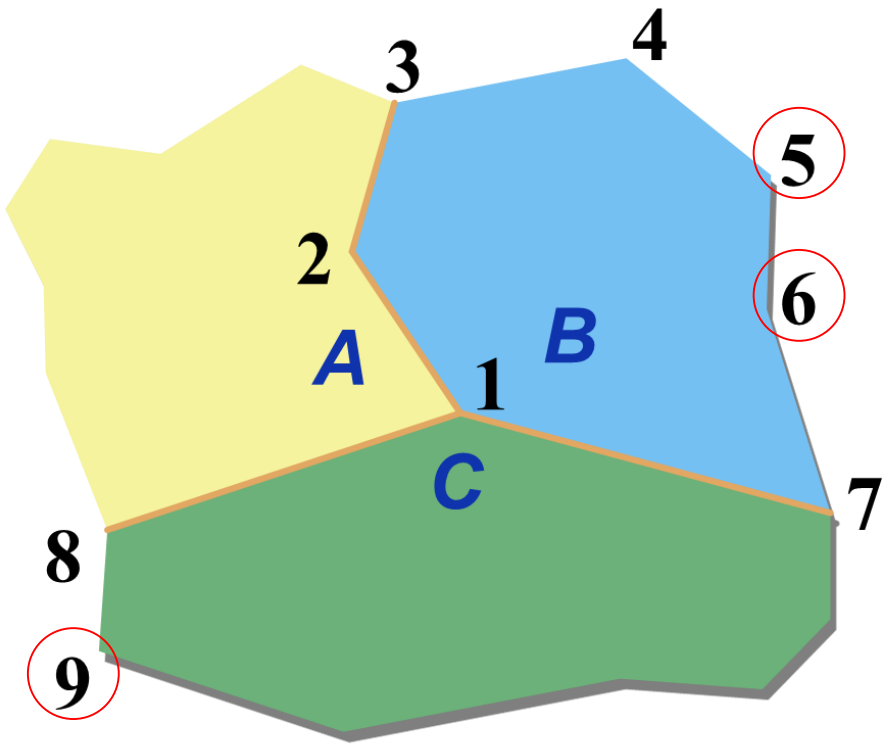
relativa all'informazione strutturale.

Gerarchia dei nodi nelle topologie areali

Quando è necessario modificare dei nodi o eliminarli occorre determinare il grado di importanza di ciascun nodo.

Questo lo si fa in ragione dell'applicazione e dello specifico dato che si deve ottimizzare.

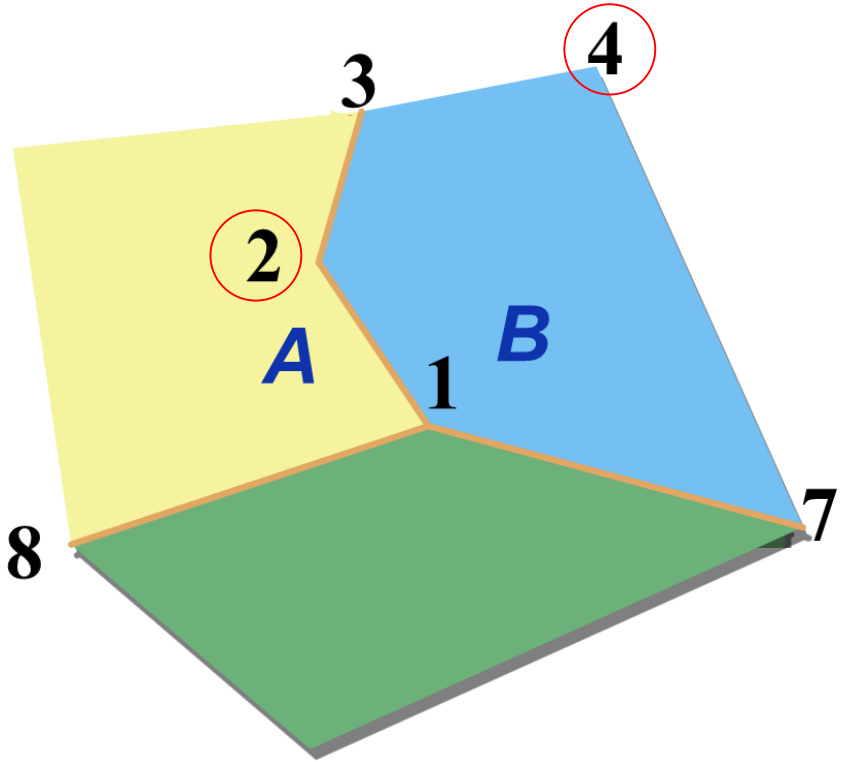
In questo esempio abbiamo tre aree. Possiamo decidere che i vertici 5,6 e 9 siano «meno importanti» degli altri ..



Semplificazione geometrica

… quindi, in una eventuale operazione di semplificazione possono addirittura essere eliminati.

Ad un secondo livello di semplificazione anche i nodi 2 e 4 possono essere subordinati …

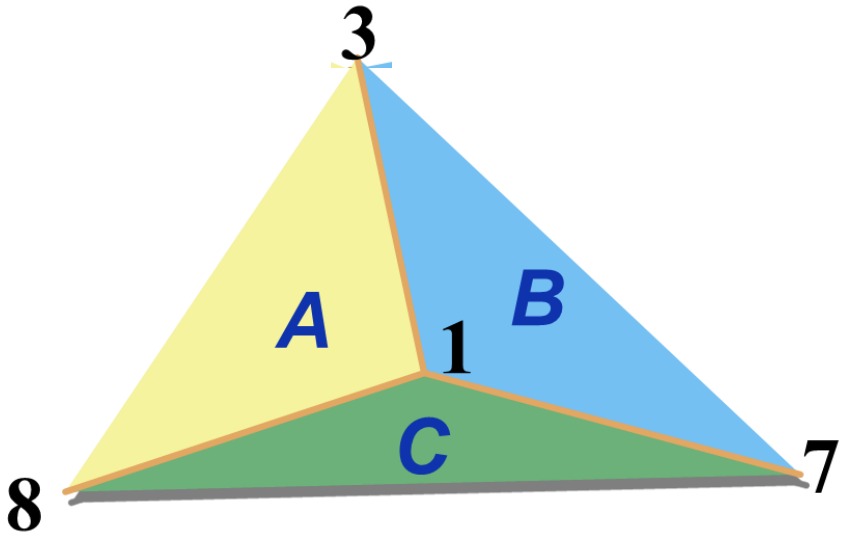


Semplificazione geometrica

… questo livello la semplificazione è estrema, le geometrie sono qualitativamente inferiori ma l'informazione strutturale non è stata compromessa.

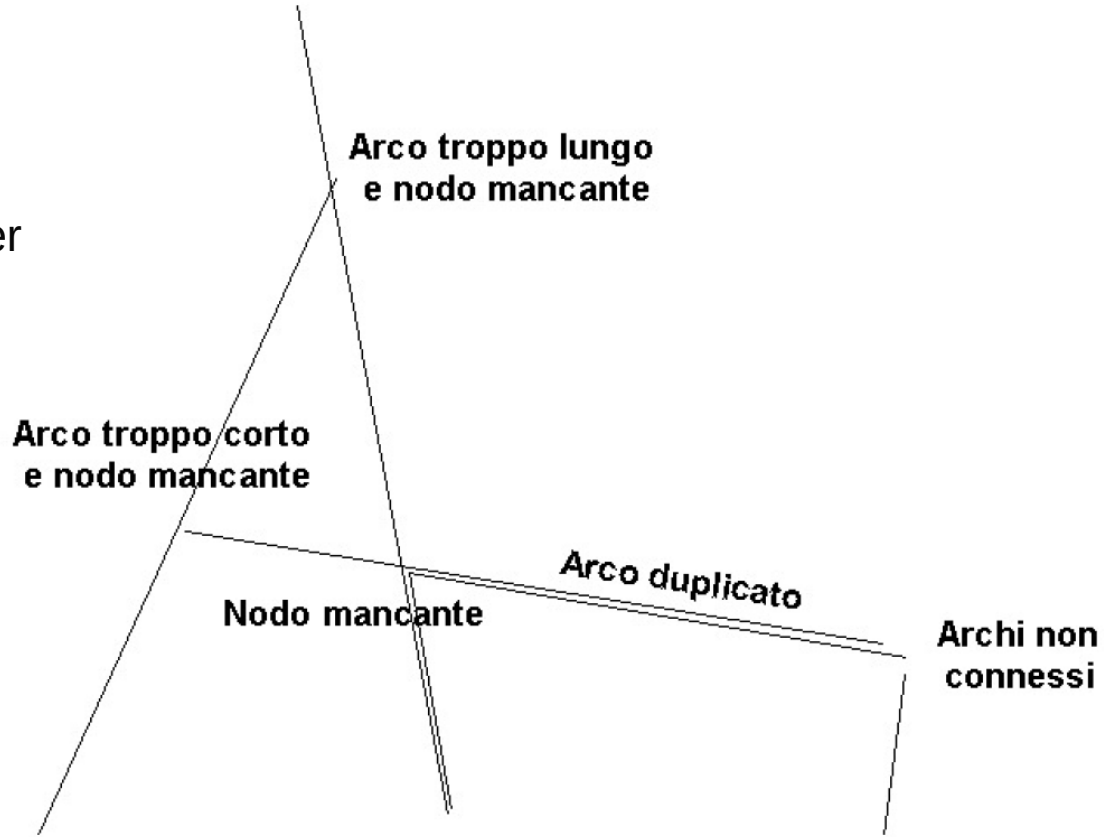
E' intuitivo che il vertice 1 è il vertice principale della struttura.

Molto spesso si utilizzano dati di supporto per la bonifica, ovvero altri layer sovrapposti che aiutano l'interpretazione del dato.



Bonifica topologica

In questo esempio vediamo rappresentati **tutti i problemi** generalmente riscontrabili nella predisposizione dei dati grezzi per una topologia.



Bonifica topologica

In generale molti software mettono a disposizione dei **tools automatici** o semi-automatici per arrivare velocemente alla soluzione ottimizzata.

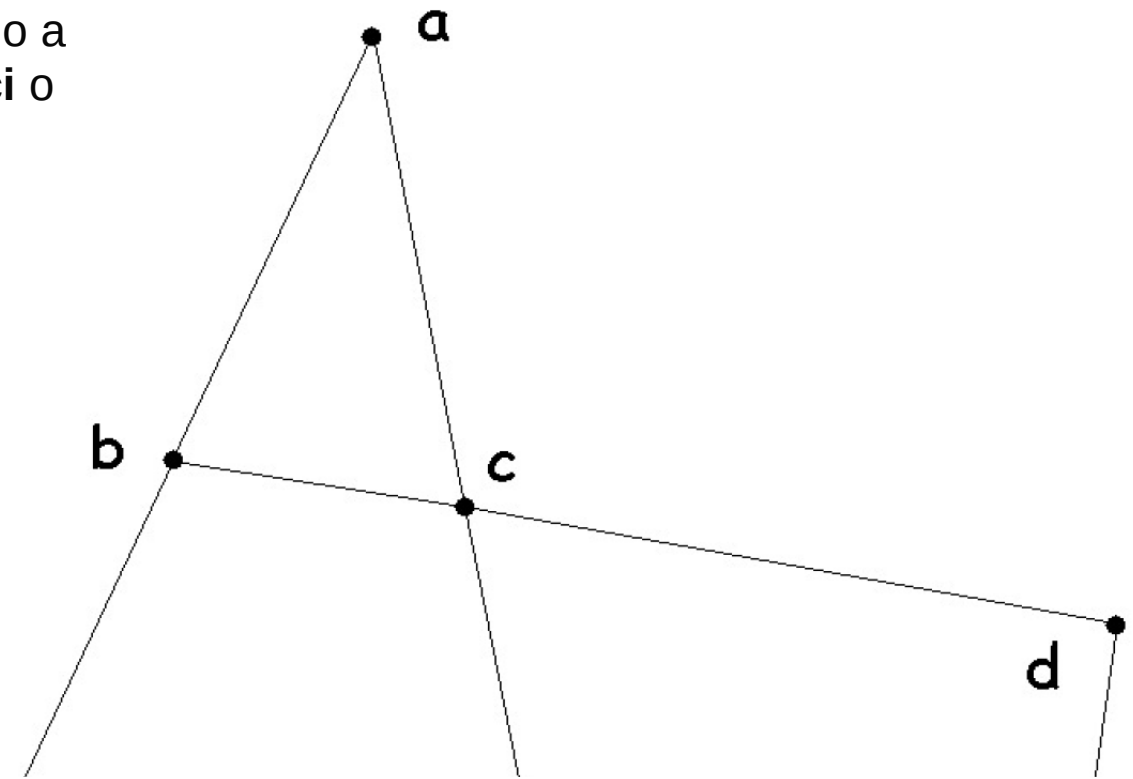
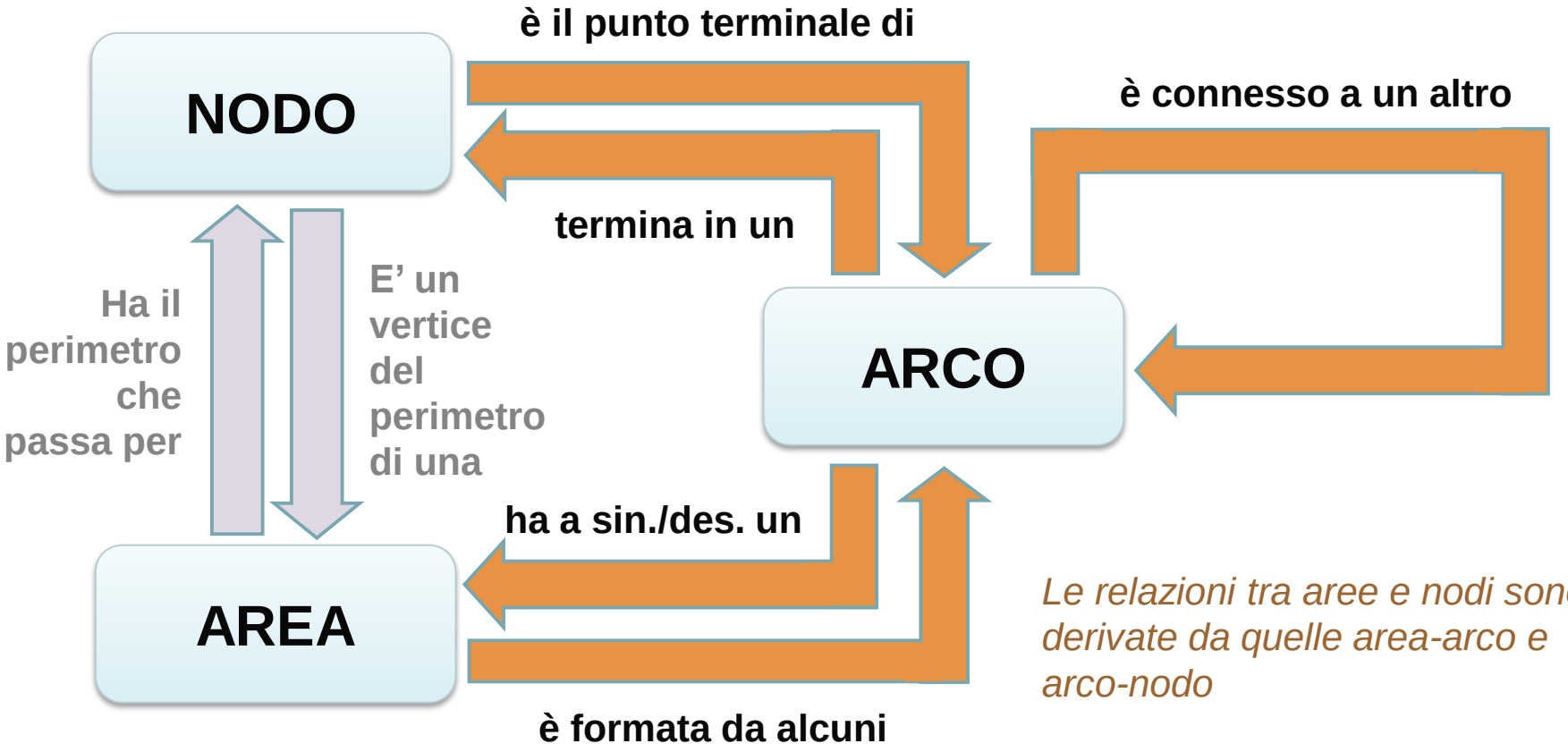


Diagramma delle relazioni in una topologia

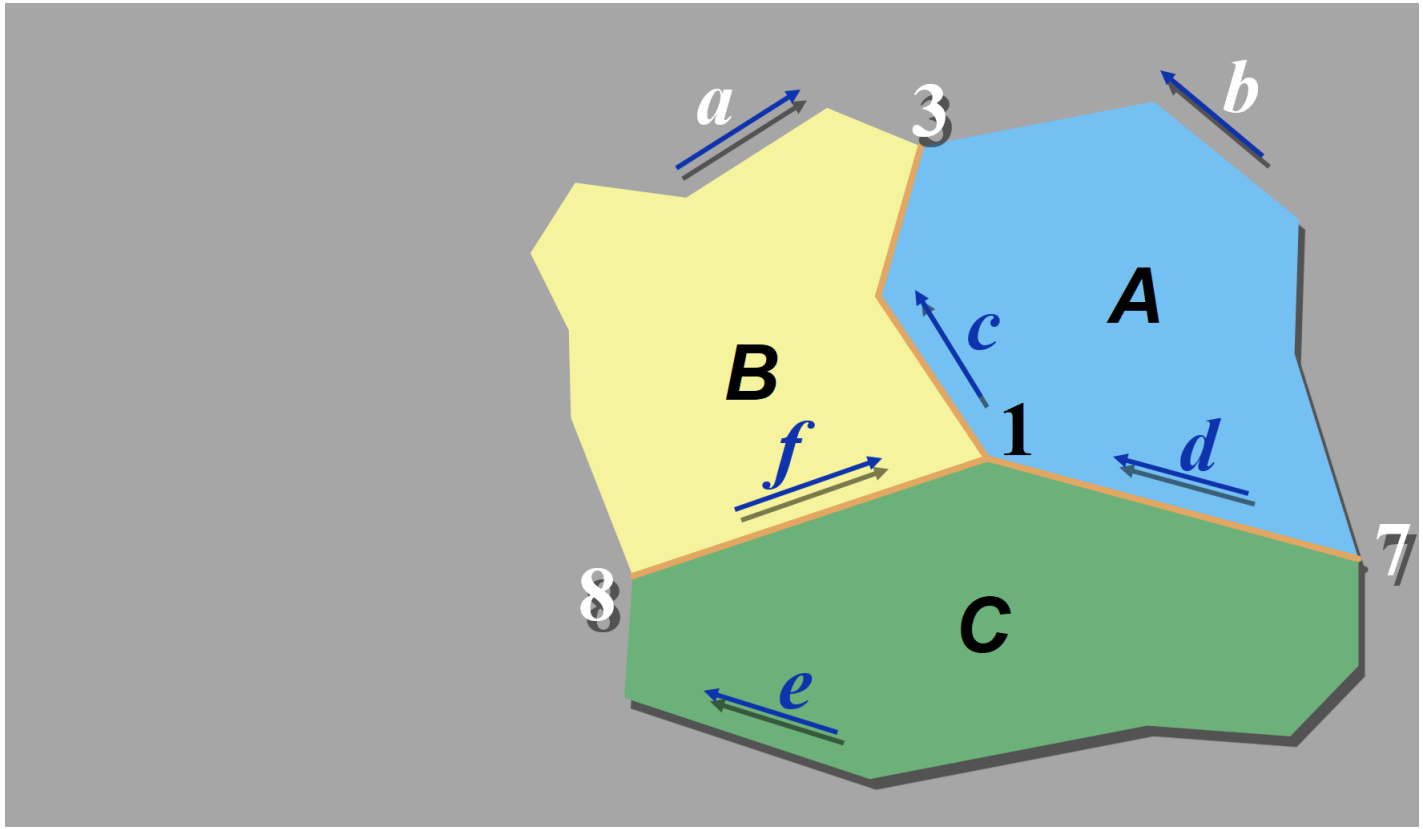


Le relazioni tra aree e nodi sono derivate da quelle area-arco e arco-nodo

Topologie areali

Immaginiamo questa situazione geometrica.

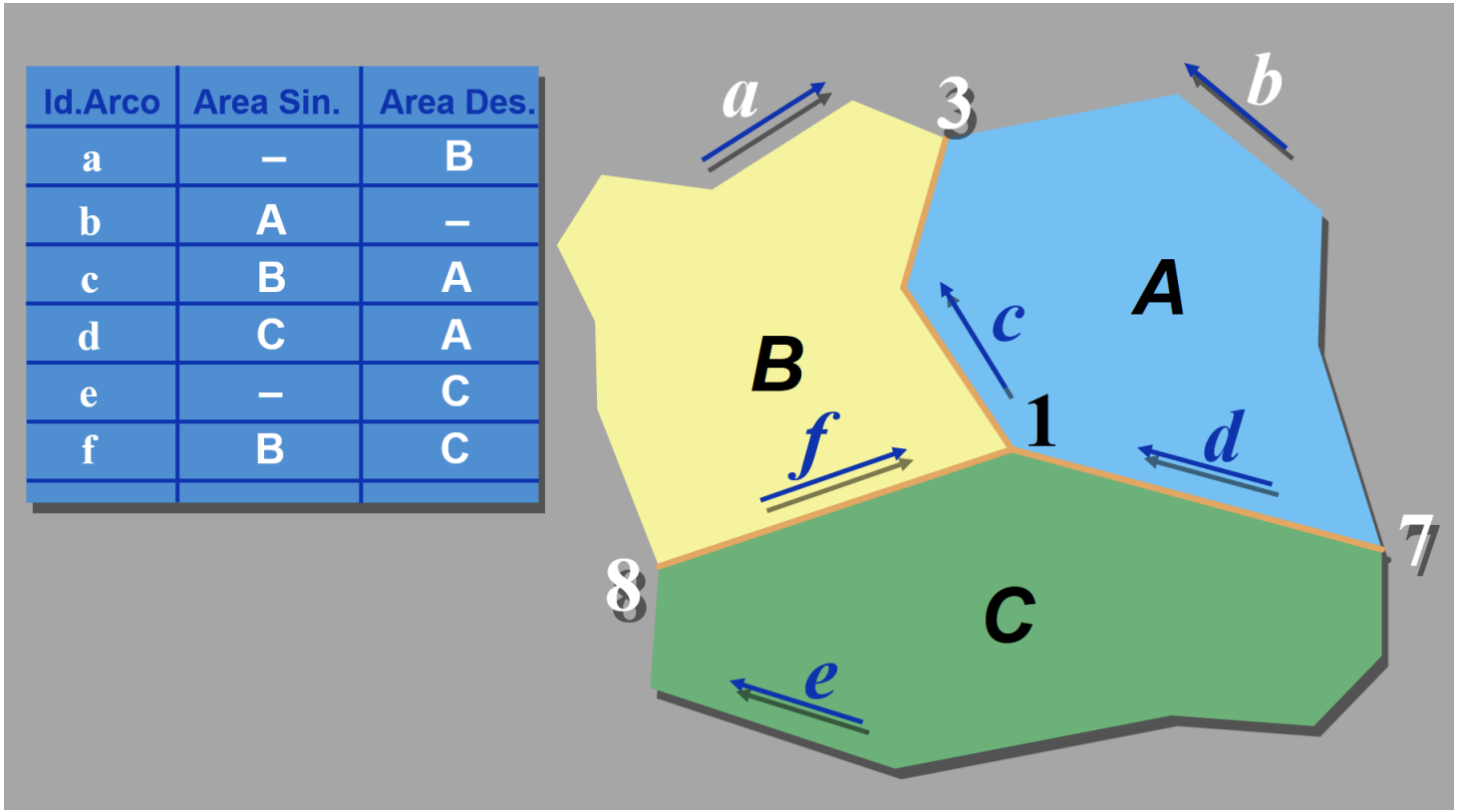
Nel grafico evidenziamo le **informazioni che servono** per realizzare la topologia.



Topologie areali

La tabella che esprime le **relazioni tra aree e archi** è la seguente.

Id.Arco	Area Sin.	Area Des.
a	–	B
b	A	–
c	B	A
d	C	A
e	–	C
f	B	C

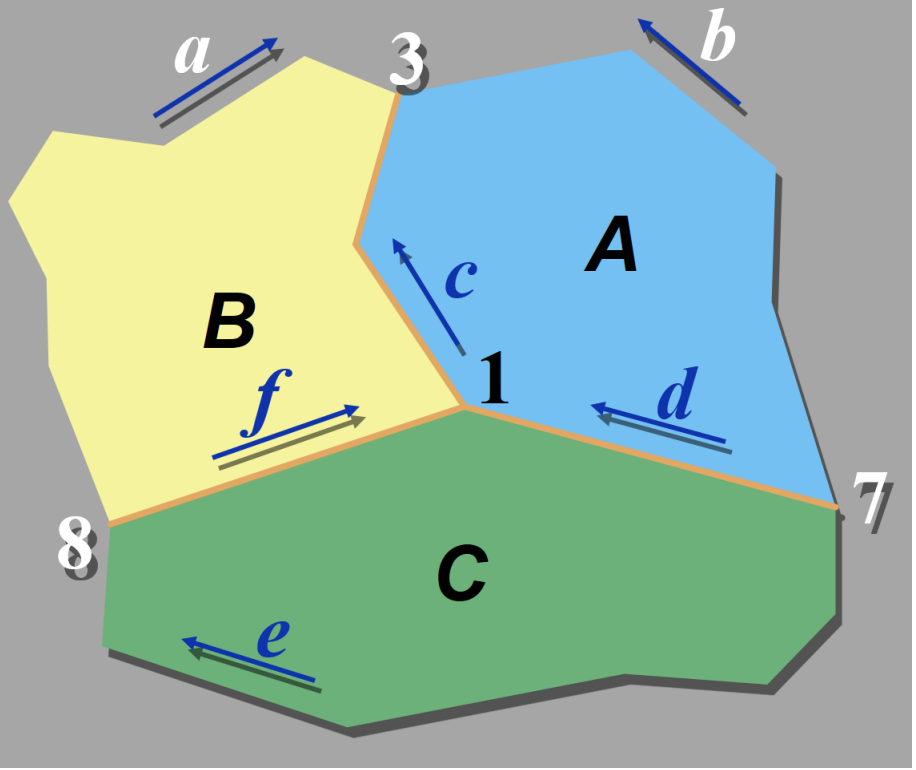


Topologie areali

E' facilmente definibile ogni area come sequenza di archi con relativo verso.

Id.Arco	Area Sin.	Area Des.
a	–	B
b	A	–
c	B	A
d	C	A
e	–	C
f	B	C

Id.Area	Composizione
A	- b + c + d
B	+ a - c - f
C	- d + e + f



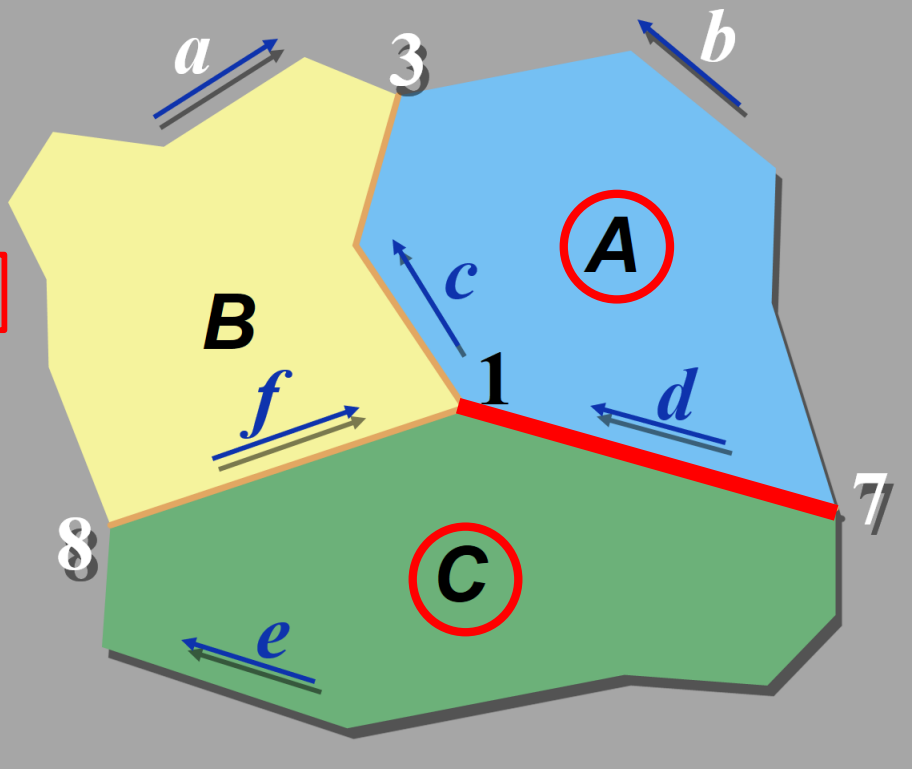
Operazioni con le topologie areali

Verifica di contiguità

Due aree sono contigue se esiste almeno un arco che ha nei campi Area_Sin e Area_Des i codici delle due aree.

Id.Arco	Area Sin.	Area Des.
a	–	B
b	A	–
c	B	A
d	C	A
e	–	C
f	B	C

Id.Area	Composizione
A	- b + c + d
B	+ a - c - f
C	- d + e + f



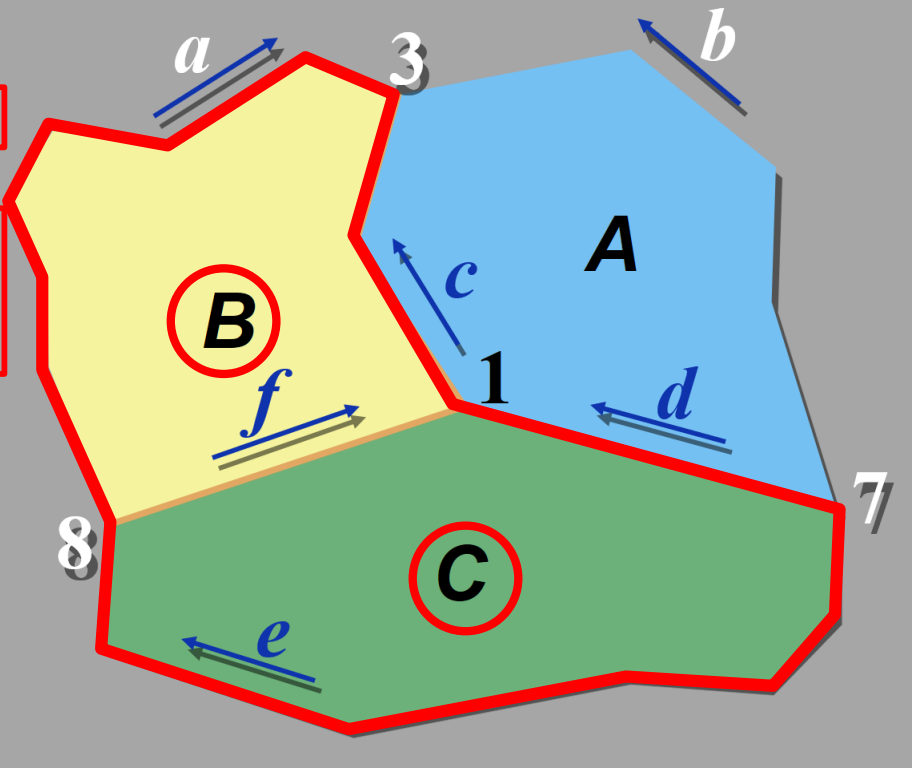
Operazioni con le topologie areali

Calcolo di unione

l'area unione di due aree è quella formata dagli archi che hanno il codice di **una sola delle due aree** nei campi Area_Sin e Area_Des

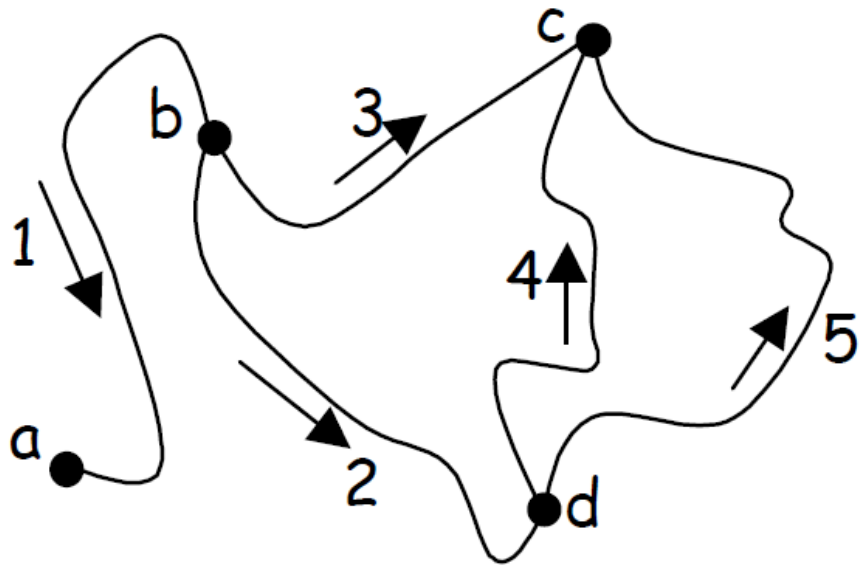
Id.Arco	Area Sin.	Area Des.
a	–	B
b	A	–
c	B	A
d	C	A
e	–	C
f	B	C

Id.Area	Composizione
A	- b + c + d
B	+ a - c - f
C	- d + e + f



Topologie lineari

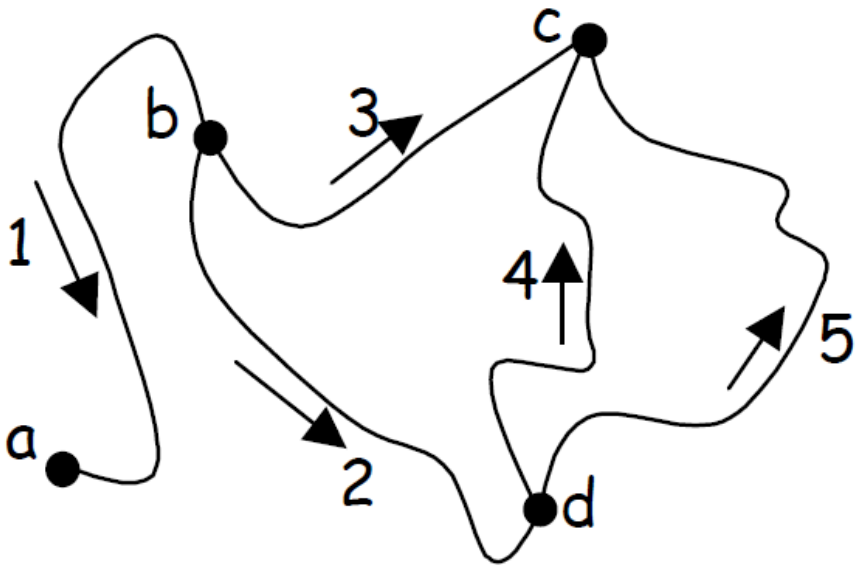
Le topologie lineari seguono le medesime regole di quelle areali. Non si considera la parte relativa alle aree con impieghi per lo più orientati al calcolo di percorsi.



Nodo	Archi entranti	Archi uscenti
A		1
B	1,2,3	
C		3,4,5
D	4,5	2

Topologie lineari

In realtà nel database interno l'informazione è memorizzata nel modo ortodosso secondo la regola per cui ogni arco è univoco e ha un solo nodo iniziale e uno solo nodo finale.



Arco	Nodo iniziale	Nodo finale
1	b	a
2	b	d
3	b	c
4	d	c
5	d	c