

**Paolo Mogorovich**

# **Sistemi Informativi Territoriali**

**Appunti dalle lezioni**

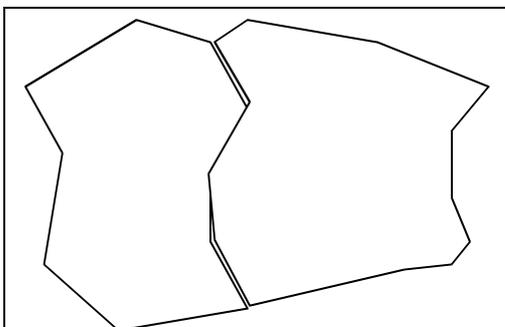
## **La topologia**

**Cod.271 - Vers.F3R**

- 1 - Incongruenze geometriche nei dati territoriali**
- 2 - La primitiva arco**
- 3 - La topologia delle aree**
- 4 - Costruzione di una geometria perfetta**
- 5 - La topologia delle linee**
- 6 - Il concetto base della topologia**
- 7 - Modelli topologici**
- 8 - Sistemi topologici e sistemi non topologici**
- 9 - Gestione dell'incongruenza multilayer**
- 10- La regola di Eulero**

## 1 – Incongruenze geometriche nei dati territoriali

Immaginiamo un operatore che acquisisca, con uno strumento informatico, una serie di primitive vettoriali di tipo areale; immaginiamo anche che le aree rappresentino un fenomeno per cui le aree sono da considerarsi adiacenti, per esempio i limiti amministrativi di una Provincia; due aree che si toccano sono “adiacenti” nel senso che tra di esse, lungo la linea di contatto, non esistono né spazi vuoti né aree di sovrapposizione.

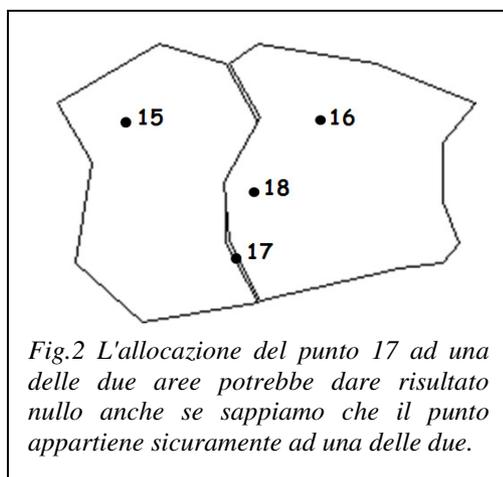


*Fig.1 La figura evidenzia, con ovvie esagerazioni, l'incoerenza tra due aree che sono adiacenti nel mondo reale, ma non nella rappresentazione informatica. L'incoerenza tra le due aree è in genere molto piccola e spesso irrilevante in una fase di disegno in quanto inferiore allo spessore del tratto della penna; tuttavia a livello informatico questa incoerenza non è tollerata perché può portare a risultati contraddittori.*

A partire da un documento cartaceo l'operatore acquisirà l'area relativa alla Provincia A digitalizzando il suo contorno, quindi l'area relativa alla Provincia B digitalizzando il nuovo contorno, e così le altre. Una volta trasformate queste aree in coordinate numeriche, non è detto che questa adiacenza sia rispettata; infatti nella fase in cui viene creata l'informazione geografica numerica, le coordinate di un vertice di un'area, per quanto acquisite con grande precisione, non saranno esattamente uguali a quelle del corrispondente vertice dell'area adiacente.

Ciò che troveremo nel nostro archivio informatico sarà una situazione del tipo di quella descritta in fig.1, cioè la presenza di piccole aree di sovrapposizione e di piccole aree vuote. È importante rendersi conto che questa incoerenza non è un errore da un punto di vista geografico: ogni coordinata, in generale ogni misura in qualunque campo, è affetta da un errore e la misura è comunque corretta se l'errore è conosciuto ed è all'interno delle specifiche che ci siamo dati. Il dato è quindi geograficamente corretto, tuttavia a livello informatico questa incoerenza non è tollerata perché può portare a risultati contraddittori.

Immaginiamo, continuando l'esempio precedente, di avere un layer pozzi, rappresentati con la primitiva punto, e di lanciare un programma che identifichi, per ciascun pozzo, la provincia di appartenenza. Dalla fig.2 si capisce che l'operazione non presenta ambiguità salvo che nel caso del pozzo 17 il quale, per un caso sfortunato, ma possibile, si trova proprio in una piccolissima area vuota. Il pozzo risulterà non appartenente ad alcuna area, mentre appartiene sicuramente ad una delle due.



*Fig.2 L'allocazione del punto 17 ad una delle due aree potrebbe dare risultato nullo anche se sappiamo che il punto appartiene sicuramente ad una delle due.*

Pensiamo a come si comporterebbe un operatore di fronte a questa situazione: egli direbbe:

- il pozzo 15 appartiene all'area di sinistra
- i pozzi 16 e 18 appartengono all'area a destra
- il pozzo 17 richiede una verifica ulteriore, su un'altra carta o con un sopralluogo.

I SW sono più radicali e darebbero il seguente risultato:

- il pozzo 15 appartiene all'area di sinistra
- i pozzi 16 e 18 appartengono all'area a destra
- il pozzo 17 non appartiene ad alcuna area

La soluzione è quella di avere una geometria “perfetta”, tale cioè che tra un'area e quella adiacente non esistano né spazi vuoti né sovrapposizioni. Questa soluzione, obiettivo dell'approccio topologico, risolve l'incongruenza numerica, nel senso che anche il pozzo 17 verrebbe sicuramente allocato ad una delle due

aree. Si noti tuttavia che questo approccio non tiene conto dell'errore di posizionamento, cioè dell'accuratezza geometrica dei dati.

Riprendendo la metafora precedente alla nuova situazione di una geometria perfetta, un essere umano continuerebbe a dire:

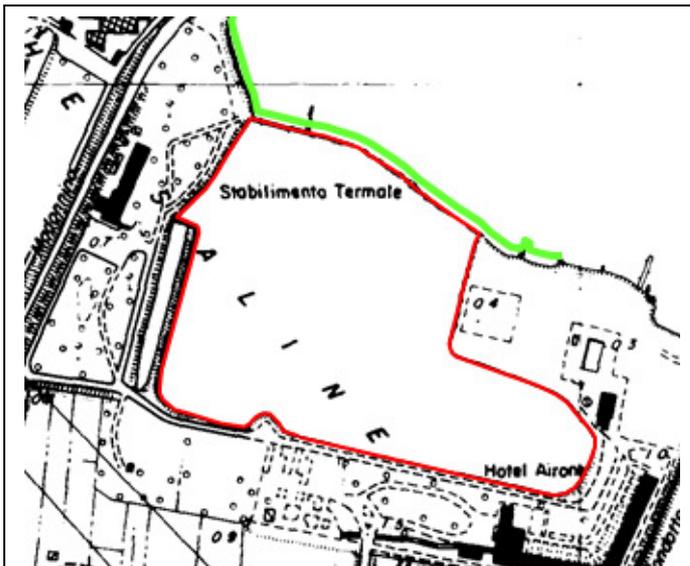
- il pozzo 15 appartiene all'area di sinistra
- i pozzi 16 e 18 appartengono all'area a destra
- il pozzo 17 sembra appartenere all'area di sinistra, ma è così vicino al bordo che rientra nei possibili errori di posizionamento, per cui richiede una verifica ulteriore, su un'altra carta o con un sopralluogo.

I SW darebbero il seguente risultato:

- i pozzi 15 e 17 appartengono all'area di sinistra
- i pozzi 16 e 18 appartengono all'area a destra.

Il problema che abbiamo descritto nel caso delle aree vale anche per una struttura lineare: in questo caso l'acquisizione di elementi lineari che convergono in un vertice sarà tale che, ai fini di un'analisi puramente visiva, la coincidenza dei punti terminali apparirà perfetta; tuttavia a livello numerico i valori dei due punti saranno lievemente diversi e questo, in fase di elaborazione, può portare, come nel caso precedente, a risultati contraddittori.

Quanto abbiamo descritto finora si applica ad un singolo layer: il problema è infatti un'incoerenza tra primitive dello stesso layer. Esiste un altro tipo di incoerenza che si nota nell'utilizzo di layer diversi.



*Fig.3 Un ipotetico layer "Stabilimenti termali", areale, disegnato in rosso, e un altro "Linea di costa", lineare, tracciato in verde, dovrebbero essere, in una parte, coincidenti, ma questo in genere, a seguito di una digitalizzazione, non accade.*

Immaginiamo di digitalizzare le informazioni presenti in una Carta come quella di fig.3 e di aver definito, tra gli altri, il layer della "linea di costa" (lineare) e quello degli "Stabilimenti termali" (areale). Abbiamo quindi digitalizzato come area il contorno dello Stabilimento (in rosso) e un tratto della linea di costa come linea (in verde). Nel mondo reale lo Stabilimento termina esattamente sulla linea di costa, ma questo, per le stesse ragioni delle incongruenze monolayer, non apparirà dalle coordinate numeriche e in quell'area le due descrizioni geografiche, pur essendo entro le tolleranze geografiche, saranno numericamente diverse.

Anche in questo caso è possibile immaginare una serie di trattamenti dei dati in cui si evidenzino contraddizioni; a differenza del caso precedente, qui abbiamo un'incongruenza tra layer diversi che

nel caso trattato sono solo due, ma che potrebbero essere molti di più (nell'esempio anche limiti amministrativi, aree protette, aree demaniali, ecc.).

## 2 - La primitiva arco

Consideriamo un insieme di tre aree formate da un certo numero di segmenti collegati tramite vertici. Cerchiamo di semplificare le linee, togliendo i punti ritenuti meno importanti.

Leggendo le tre immagini di fig.4, partendo dall'alto, è abbastanza intuitivo cominciare a semplificare togliendo i vertici 2, 5, 6, 9 e altri fino a raggiungere il risultato della seconda immagine. Un'ulteriore semplificazione può portare a eliminare il punto 4 ed anche altri, fino ad arrivare ad una struttura molto semplice.

A questo punto si percepisce chiaramente che non sono eliminabili altri punti, in quanto si modificherebbe non più la geometria, ma anche una parte "strutturale" della figura. L'eliminazione del punto 7, ad esempio, causerebbe l'eliminazione delle aree B e C, e non soltanto una loro semplificazione geometrica.

Da quanto detto sopra, si può ipotizzare che, in una struttura di aree, i singoli elementi areali possano essere rappresentati non dalla poligonale chiusa che circonda l'area, ma da una combinazione di elementi più semplici. L'unità informativa elementare non è più la poligonale, ma una sua parte, cioè la linea che divide due aree: con riferimento alla fig. 4 l'unità informativa elementare potrebbe essere la linea che unisce i punti 3 e 7; nelle figure tale linea divide l'area B dall'esterno del disegno, e questa caratteristica rimane costante qualunque sia la ricchezza del dettaglio geometrico.

Questa unità informativa elementare si chiama "arco" e può essere formata da un numero imprecisato, maggiore o uguale a uno, di segmenti. Due o più archi convergono in un punto detto nodo.

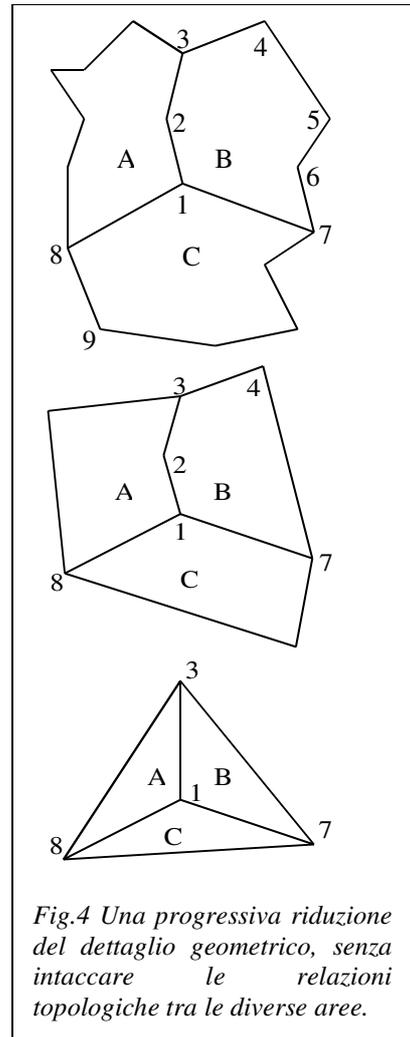
Un'area può essere definita come un insieme di archi. Se usiamo questo modo di definire le aree, vengono eliminate le incongruenze sui bordi notate in precedenza, in quanto la linea che definisce un'area è proprio la stessa linea che definisce l'area contigua.

Se immaginiamo che l'arco sia una primitiva dotata, come le tre primitive geometriche, di attributi, e se consideriamo come attributi di un arco il "quale area c'è a destra" e il "quale area c'è a sinistra" si vede che l'arco rispetta il concetto di omogeneità di attributi, mentre il perimetro no. La definizione di questi attributi presuppone, tramite il concetto di destra e sinistra, di definire un verso di percorrenza dell'arco.

La conoscenza di questi attributi ci permetterebbe inoltre di risolvere l'altra difficoltà notata, consistente nel non sapere a priori, dato un tratto di bordo, se l'area descritta è a destra o a sinistra.

Abbiamo quindi definito una nuova primitiva avente la geometria della linea, con l'aggiunta di un "verso" e con due attributi. Cercheremo di usare questa primitiva per descrivere le primitive geometriche area e linea in modo diverso da quello semplice delle primitive geometriche vettoriali.

*Quanto detto in questo e nel seguente paragrafo riporta i concetti della codifica DIME (Dual Independent Map Encoding), adottata quasi 40 anni fa dal U.S.Census Bureau. Tali concetti sono stati ripresi, anche con varianti, da alcuni SW GIS commerciali.*



### 3 - La topologia delle aree

Perché un'area possa essere codificata correttamente come un insieme di archi, questi devono essere orientati e ci deve essere una convenzione sul rapporto tra il verso della linea e il "pieno" dell'area; adottiamo la regola che "il dentro è a destra", cioè camminando sulla linea nel suo verso troviamo l'area alla nostra destra (l'adozione della regola simmetrica non avrebbe cambiato alcunché) (fig.5).

Con questa ipotesi, data una mappa costituita da un insieme di aree adiacenti, è possibile costruire una tabella (tabella degli archi) che associ ad ogni arco gli attributi Sin e Des, cioè i codici delle aree che si trovano rispettivamente a sinistra e a destra. (tab.6)

<i>Id. arco</i>	<i>Area Sin.</i>	<i>Area Des.</i>
a	--	B
b	A	--
c	B	A
d	C	A
e	--	C
f	B	C

Tab.6 – Tabella degli archi con associazione dei codici Area Sinistra e Area Destra.

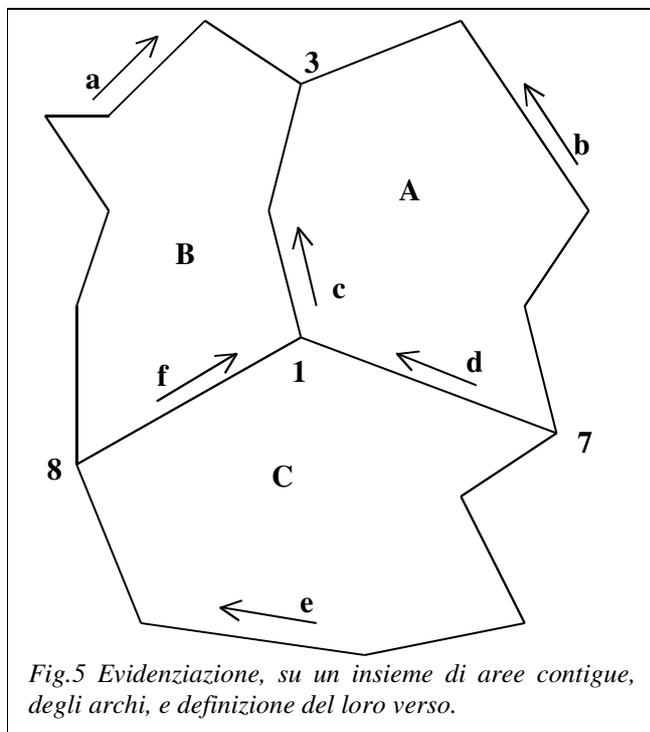


Fig.5 Evidenziazione, su un insieme di aree contigue, degli archi, e definizione del loro verso.

La tabella che definisce le aree (tab.7) si può ricavare immediatamente dalla tabella degli archi: un'area è definita dagli archi che hanno il codice dell'area o nel campo "Area Sin" o nel campo "Area Des". Se infatti un arco ha tra i suoi attributi "Area Sin" o "Area Des", il codice di un'area, vuol dire che esso contribuisce a separare tale area dalle altre e quindi necessariamente definisce il bordo dell'area.

Se il codice dell'area è nel campo "Area Des", l'arco va preso con suo verso, altrimenti col verso opposto.

<i>Id. Area</i>	<i>Composizione</i>
A	-b +c +d
B	+a -c -f
C	-d +e +f

Tab.7 – Definizione di un'area come elenco degli archi orientati

La tabella degli archi si presta a considerazioni interessanti. Operando su di essa infatti è possibile eseguire rapidamente alcune operazioni, come ad esempio:

**Contiguità:** due aree sono contigue se esiste almeno un arco che ha nei campi Area\_Sin e Area\_Des i codici delle due aree (con riferimento alla figura, le aree A e B sono contigue in quanto l'arco "c" contiene i loro codici nei campi Area\_Sin e Area\_Des).

**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; vanno esclusi sia gli archi che hanno nei campi Area\_Sin e Area\_Des codici diversi, sia quelli che hanno nei campi Area\_Sin e Area\_Des i codici delle due aree contemporaneamente (l'unione delle aree A e B è formata dagli archi +a -b +d -f; sono esclusi dalla combinazione sia l'arco "e" che non contiene nei campi Area\_Sin e Area\_Des né il codice A né il B, sia l'arco "c" che invece li contiene entrambi). L'operazione di Unione è facilmente estendibile al caso di più di due aree.

Altre operazioni che coinvolgono l'area nel suo insieme possono essere eseguite, mantenendo una struttura dati del tipo "ad archi", cioè senza ricomporre tra loro più archi per ottenere la codifica esplicita dell'area. Sono esempi il calcolo del perimetro, il calcolo della superficie, la preparazione della campitura.

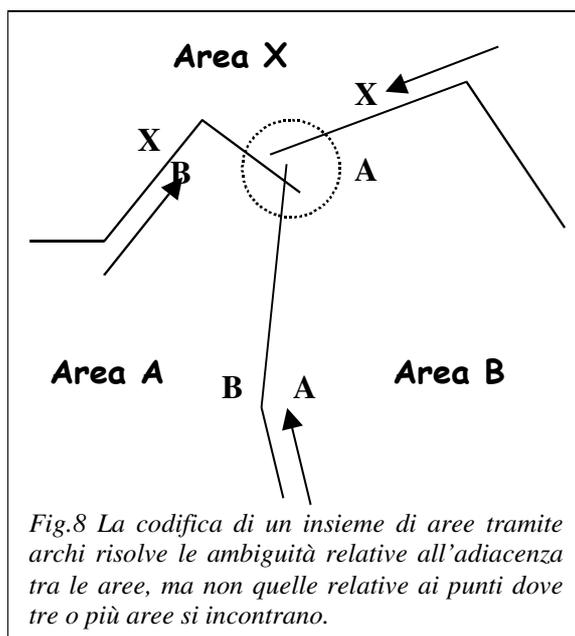
#### 4 – Costruzione di una geometria perfetta

L'ipotesi di costruire un'area come insieme di archi risolve il problema dell'ambiguità al bordo tra due aree. Con la soluzione adottata il bordo è unico e ciascun punto, nelle vicinanze del confine tra due aree, apparterrà inevitabilmente a una, e ad una sola, delle due aree.

Non abbiamo però ancora risolto il problema relativo alla convergenza esatta di più archi nello stesso nodo (fig.8). Infatti, una volta definite le aree come insiemi di archi, dobbiamo imporre l'ulteriore condizione che gli archi siano connessi con esattezza geometrica ad altri archi.

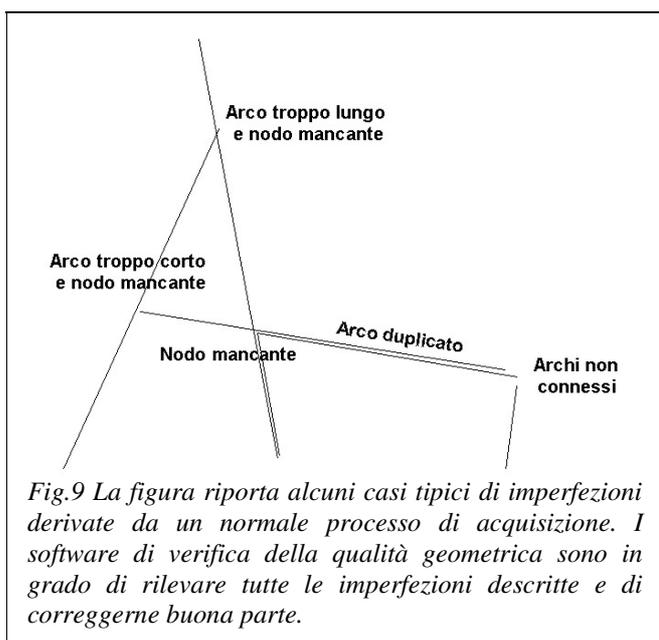
Far collassare gli estremi di un arco verso un unico punto è un'operazione puramente geometrica. Essa viene svolta dall'operatore in fase di digitalizzazione, per esempio utilizzando la funzione "snap", almeno dove ciò è possibile, o in una fase successiva, in cui opportune funzioni proprie del software si incaricano di analizzare tutti gli archi esistenti e di verificare che l'estremo di ciascun arco coincida "esattamente" (cioè abbia coordinate numericamente uguali) con l'estremo di almeno un altro arco.

Quando la situazione precedente non è verificata, il software analizza se, in un intorno predefinito



e in genere abbastanza piccolo, esistono altri estremi di archi; se così è gli estremi degli archi vengono fatti collassare automaticamente nello stesso punto che assume il ruolo di nodo. Se la correzione non è possibile il software segnala una situazione su cui occorre intervenire.

Questa operazione di pulizia analizza diversi casi (fig.9), oltre a quello considerato, ed è in genere integrata a funzioni interattive di editing grafico. Le correzioni eseguite dal software, poiché avvengono all'interno di tolleranze predefinite, non inficiano la qualità geometrica dei dati, in quanto le tolleranze stesse sono state definite in modo opportuno.



Si noti che l'operazione di pulizia che abbiamo descritto opera su archi, prescindendo dal fatto che tali archi descrivano oggetti del mondo reale modellati con la primitiva area o con la primitiva linea.

Supponendo di pulire i dati della fig.9 precedente avremmo alla fine una situazione come quella della fig.10. Si noti che nei nodi "b" e "c" convergono tre o più archi, mentre nei nodi "a" e "d" convergono solo due archi. Se in un nodo convergono due archi, i loro codici "area\_a\_sin" e "area\_a\_des" sono necessariamente uguali e quindi i due archi possono essere

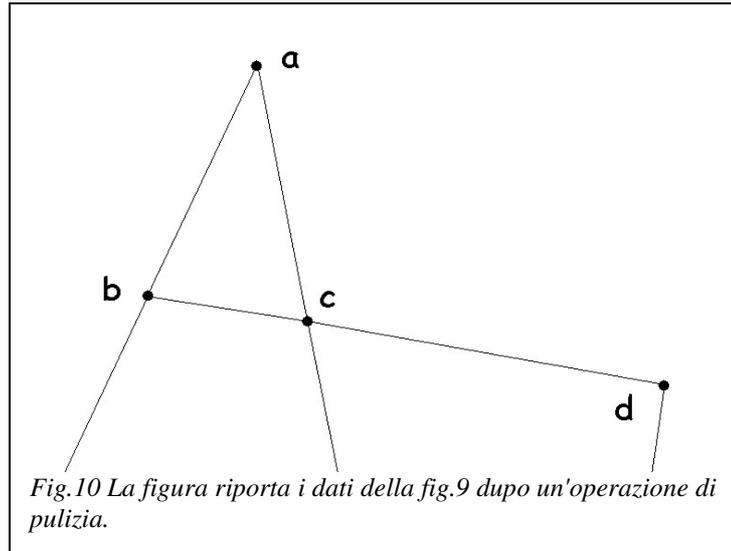


Fig.10 La figura riporta i dati della fig.9 dopo un'operazione di pulizia.

riuniti in un solo arco. Sempre con riferimento alla figura, quindi, i nodi "a" e "d" sono falsi nodi, concettualmente errati anche se a volte tollerati dalle strutture informatiche.

L'unico caso in cui un nodo che unisce due soli archi è concettualmente corretto è quello in cui si ha un'area definita da un solo arco, cioè un'isola.

Il risultato finale di un'operazione di pulizia geometrica è un insieme di archi che hanno le seguenti caratteristiche:

- tutte le intersezioni tra archi sono dei nodi
- dato un nodo e un cerchio di raggio  $R_i$  intorno ad esso, non esistono altri nodi né altri archi all'interno di quell'area
- dato un arco, non esiste alcun vertice di nessun altro arco a distanza minore di  $R_i$  da esso.

$R_i$  è una quantità collegata alla risoluzione geometrica dei nostri dati; se due elementi sono tra loro più distanti di  $R_i$ , essi sono due elementi distinti; se essi sono tra loro distanti meno di  $R_i$ , non devono essere considerati come elementi distinti.

Quando i dati geometrici rispettano queste condizioni la loro geometria è perfetta (da un punto di vista topologico) ed è corretto utilizzarli per costruire strutture topologiche.

## 5 - La topologia delle linee

Il problema dell'adiacenza tra due aree (elementi a due dimensioni) è stato risolto introducendo i concetti di arco e nodo, e utilizzando gli archi, accorpati in insiemi, per definire le aree. Esiste un problema analogo nel caso di elementi a una dimensione, cioè le linee.

In questo caso esiste un'unica ambiguità, consistente nella non perfetta coincidenza degli estremi di archi convergenti. (fig.11) Immaginiamo una rete stradale, codificata in modo lineare: gli incroci tra strade potrebbero apparire incongruenti, come in figura. Il problema della connessione tra linee diverse

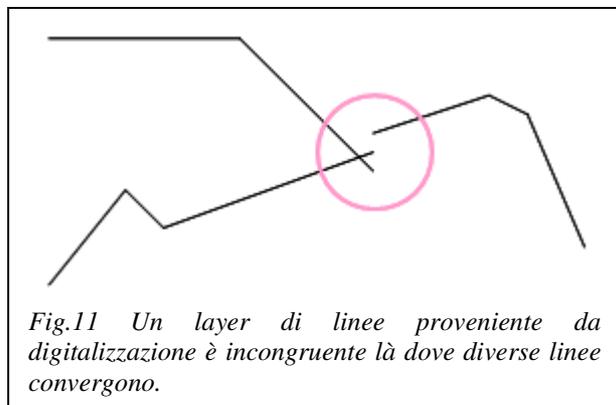


Fig.11 Un layer di linee proveniente da digitalizzazione è incongruente là dove diverse linee convergono.

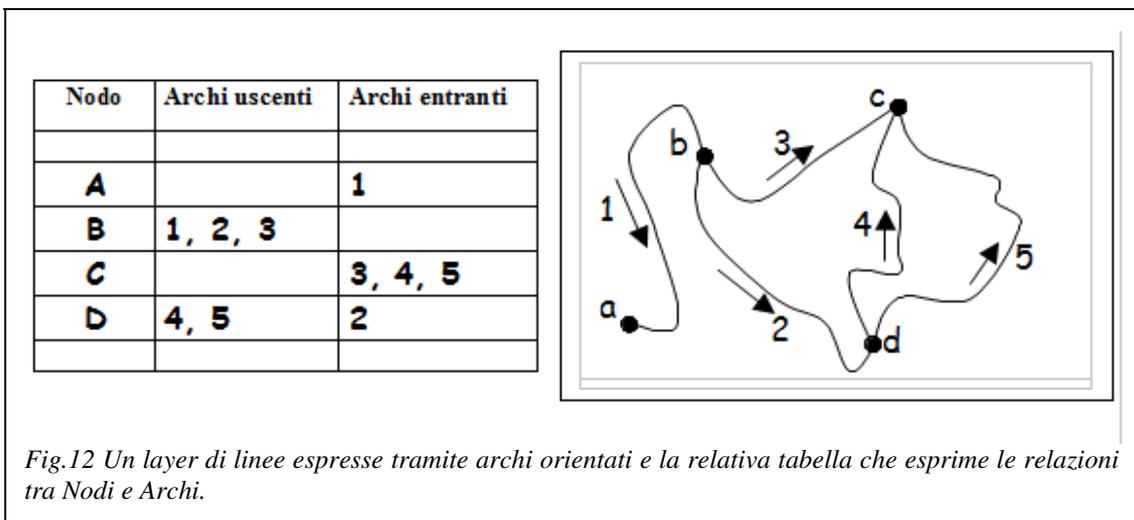
(anche in questo caso dette archi, pur se non dividono aree) avviene ipotizzando che non esistano diversi

punti terminali per elementi convergenti, bensì uno solo, detto anche qui nodo, in modo analogo al procedimento usato per l'adiacenza tra aree.

Da un punto di vista puramente geometrico, i programmi di pulizia descritti sono in grado di creare dati geometricamente perfetti; si noti che, a differenza del caso delle aree, un nodo isolato è in una struttura di linee pienamente legittimo (p.e. una strada a fondo chiuso).

Una volta ottenuti dati geometricamente perfetti, è possibile, come nel caso della aree, costruire delle strutture tabellari che esplicitino relazioni tra elementi geometrici.

Si riporta un esempio di un insieme di linee e di una tabella che esprime le relazioni topologiche tra archi e nodi; si noti che la struttura topologica proposta richiede l'orientazione dell'arco, altrimenti gli attributi "archi uscenti" e "archi entranti" non sarebbero definibili. Nel caso delle strade, la tabella potrebbe essere utilizzata per la scelta del percorso ottimale tra due punti; l'operazione avviene solo sulla tabella, senza scomodare la più complessa parte geografica.



Si noti che la tabella di fig.12, espressa come Archi associati ai Nodi, si potrebbe esprimere in modo duale, cioè come Nodi associati agli archi (fig.13.)

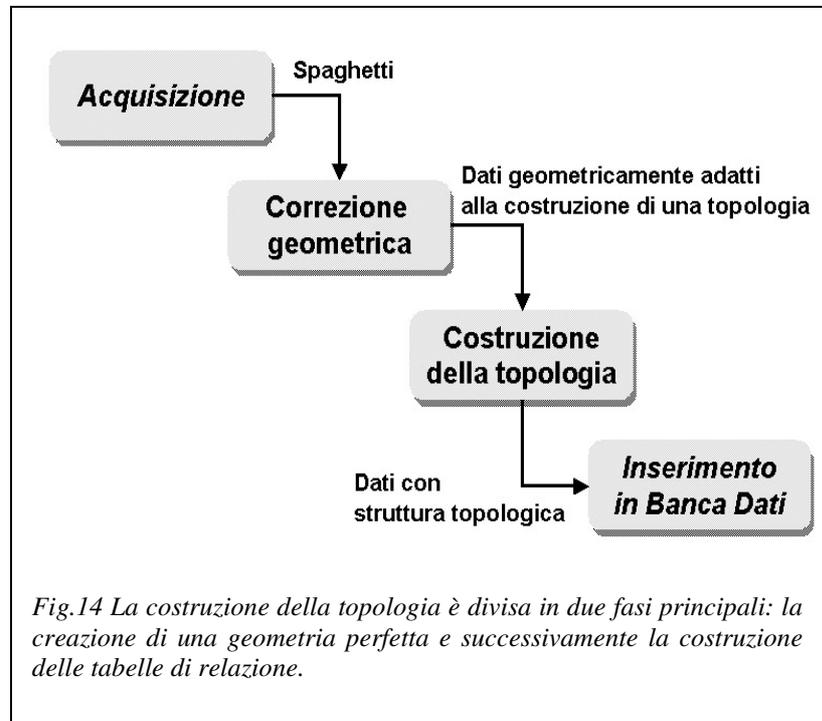
Arco	Nodo iniziale	Nodo finale
<b>1</b>	<b>b</b>	<b>a</b>
<b>2</b>	<b>b</b>	<b>d</b>
<b>3</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<b>4</b>	<b>d</b>	<b>c</b>
<b>5</b>	<b>d</b>	<b>c</b>

Fig.13 La tabella di relazioni tra Nodi e Archi di fig.13 può essere espressa in modo duale.

## 6 - Il concetto base della topologia

La topologia studia relazioni spaziali tra oggetti geometrici; nella tecnologia GIS la topologia suggerisce l'esplicitazione di relazioni spaziali tra primitive geometriche, tipicamente l'adiacenza tra aree e la connessione tra linee; tali relazioni si potrebbero anche calcolare direttamente dalla geometria, ma sarebbe molto più costoso. Nello spazio della topologia, invece, una volta che le relazioni sono state esplicitate tramite tabelle, alcune operazioni sono più semplici, in quanto simili a quelle che si fanno sugli attributi.

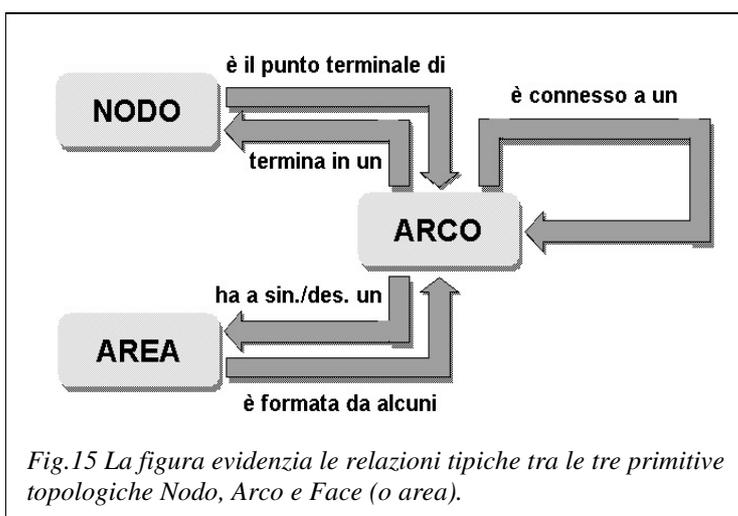
Se il dato è geometricamente perfetto è possibile creare senza errori la sovrastruttura topologica; pertanto la creazione della topologia si basa su una prima fase di verifica e correzione dei dati da un punto di vista geometrico e successivamente nella creazione delle relazioni topologiche. (fig.14).



La topologia è quindi una sovrastruttura, che possiamo considerare “ridondante”, la quale:

- garantisce la coerenza dei dati (da non confondersi con la qualità dei dati)
- dà maggiore efficienza ad alcune elaborazioni

Essa tuttavia rappresenta un costo nella preparazione dei dati, nell'importazione dei dati da altre fonti e nell'aggiornamento.



Il processo di acquisizione dati, tra le varie elaborazioni, è quello che beneficia di più di un approccio topologico. È infatti possibile organizzare il processo di acquisizione in modo da velocizzare alcune operazioni e avere contemporaneamente un controllo sui possibili errori. Questo è vero soprattutto per quanto riguarda l'acquisizione tramite digitalizzatore.

Le primitive topologiche arco e nodo trovano la loro corrispondenza geometrica nelle primitive linea e punto. Nel caso delle aree, la primitiva areale nel

mondo topologico viene chiamata “face”, ma in italiano si usa dire ancora “area”.

## 7 - Modelli topologici

La costruzione della topologia, cioè la costruzione di tabelle che esplicitano relazioni tra archi, nodi e aree, è tutt'altro che univoca. Infatti le relazioni definibili tra archi, nodi e aree dipendono dal fenomeno del mondo reale che viene modellato (p.e. se i dati che trattiamo definiscono una rete stradale, non vi saranno ovviamente relazioni che riguardano le aree); inoltre, a parità di modello topologico, i vari software GIS implementano le relazioni in modo diverso.

I modelli topologici più comuni sono:

- Full planar graph: è la struttura topologica adatta a descrivere elementi areali contigui e non sovrapposti, tipicamente limiti amministrativi o mappe catastali.
- Planar graph linear network: è adatto a descrivere un insieme di linee interconnesse tra loro, senza la presenza di aree, col vincolo che tutte le intersezioni sono nodi; il caso tipico è quello di una rete stradale o ferroviaria ma senza ponti o sottopassi.
- Non planar graph linear network: è adatto a descrivere un insieme di linee interconnesse tra loro, senza la presenza di aree e senza il vincolo che tutte le intersezioni siano nodi. In pratica due linee si possono intersecare geometricamente, ma non strutturalmente, come nel caso di un'autostrada e di una strada secondaria che la attraversa su un ponte.
- Spaghetti Questa struttura indica un insieme di dati codificati e memorizzati senza alcun vincolo. Esso può riguardare sia dati che non hanno mai avuto una struttura topologica e quindi geometricamente imperfetti, ma può anche riguardare il caso interessante di dati che hanno avuto una struttura topologica la quale, senza modifiche alla geometria, è stata tolta. In questo caso i dati si trovano in una situazione di "correttezza" geometrica in modo tale che una struttura topologica può essere facilmente costruita.

Il Full planar graph è il modello più restrittivo e per lui valgono le seguenti regole, definite quasi 40 anni fa 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

Se immaginiamo un contesto lineare, per esempio una rete stradale, vediamo che:

- la seconda e la terza regola non hanno senso
- la quarta va modificata
- la quinta regola non è sempre vera, come accade ad esempio nel caso dei sottopassi e dei cavalcavia.

È possibile mettere in relazione queste regole con i modelli topologici, come riportato in tab.16. L'asterisco indica il rispetto della regola, il triangolo un rispetto parziale, come è evidente, ad esempio nel caso del "Planar graph linear network" dove la regola "ogni nodo è circondato da aree e archi" vale nella forma ridotta "ogni nodo è circondato da archi".

	• 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	
★ ★ ★ ★ ★						• Full planar graph
★			▲	★		• Planar graph linear network
★			▲			• Non planar graph linear network
★	▲	★	▲			• Non planar graph linear network with surfaces
★						• Spaghetti

Tab.16 La tabella riporta le relazioni esistenti tra alcuni modelli topologici e regole che definiscono le relazioni tra le primitive topologiche. L'asterisco indica il rispetto della regola, il triangolo un rispetto parziale.

## 8 - Sistemi topologici e sistemi non topologici

Il fatto che, a parità di modello topologico, i vari software GIS implementino le relazioni in modo diverso pone il problema del trasferimento di dati tra sistemi diversi. Nel passaggio di dati da un sistema ad un altro, l'unica possibilità è che la topologia venga “smontata” dal sistema di uscita e “ricostruita” dal sistema che riceve i dati secondo le diverse regole di quest'ultimo. Vi sarà quindi un formato intermedio in cui i dati si muovono da un sistema all'altro, e in questa fase i dati non hanno una struttura topologica (non esistono le tabelle di relazione tra primitive topologiche), ma mantengono le caratteristiche di qualità geometrica, in pratica restano “geometricamente perfetti”. Il modello “spaghetti” è quello che, per definizione, si presta a questa operazione.

Un caso comune di “smontaggio” della topologia è quello secondo cui si ricostruiscono le primitive geometriche a partire dalle primitive topologiche.

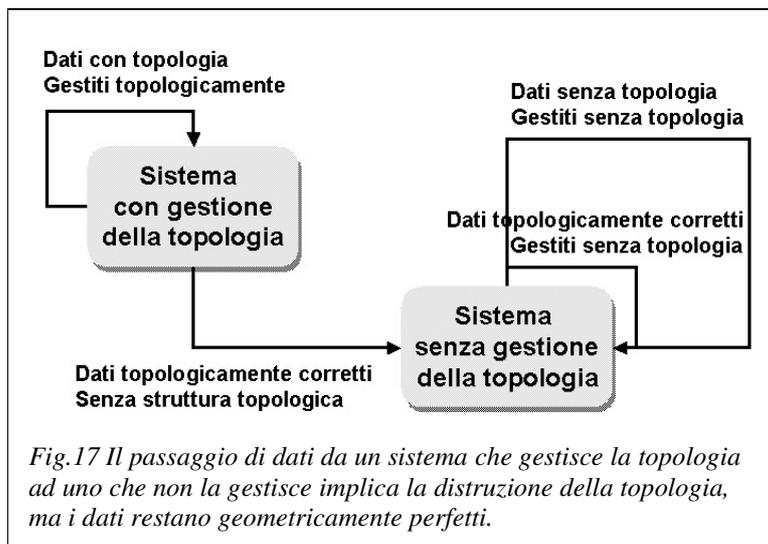
Supponiamo che all'interno di un sistema A esista una struttura topologica, per uno strato informativo areale, secondo la quale gli elementi geometrici sono descritti tramite archi e tabelle. In genere il sistema A sarà dotato di un software di trasformazione che, dagli archi e dalle tabelle, ricostruisce gli elementi areali. Questi dati non sono gestiti da una topologia, ma sono geometricamente perfetti, nel senso che una linea che divide l'area 1 dall'area 2 è esattamente la stessa sia quando compare nella primitiva areale dell'area 1 che in quella dell'area 2.

Quando il sistema B, dotato di un certo modo di gestire la topologia, riceve questi dati, ricostruisce gli archi, dividendo a pezzi le varie aree, e l'arco di divisione tra l'area 1 e l'area 2 estratto dall'area 1 è numericamente identico a quello estratto dall'area 2. Non vi è quindi alcuna fase di “pulizia” e i dati, inseriti nel sistema B con una nuova struttura topologica, saranno geometricamente identici ai dati che erano presenti nel sistema A.

È comune il caso in cui dati geometricamente perfetti, ma senza struttura topologica, vengano portati in un sistema software di livello basso (C), che non gestisce strutture topologiche, ma che semplicemente tratta le primitive geometriche così come sono.

Il sistema C, per sua natura, quando acquisisce dati, crea archivi dove non è possibile che i dati siano geometricamente perfetti. Tuttavia, nel caso in cui riceva da un altro sistema dati geometricamente perfetti, siamo nella fortunata situazione di avere dati geometricamente perfetti all'interno di un software che non gestisce la topologia (dati geometricamente perfetti gestiti senza topologia). Questa fortunata situazione dura finché i dati vengono utilizzati solo in operazioni di “lettura”, senza modifiche. Se i dati vengono modificati è molto probabile che essi non siano più geometricamente perfetti, e il sistema C non è in grado di attivare un processo di costruzione topologica che li renderebbe di nuovo geometricamente perfetti. Questa grossa limitazione di SW che non gestiscono la topologia è aggirato, in molti casi, da artifici che permettono di modificare dati all'origine geometricamente perfetti senza perdere la “perfezione geometrica”.

La situazione riportata in fig.17 è estremamente comune. Si pensi ai server che distribuiscono dati, in genere geometricamente perfetti, a client dove sono attivi software di livello medio basso (tipicamente dei “desktop GIS”), che non gestiscono la topologia.



*Fig.17 Il passaggio di dati da un sistema che gestisce la topologia ad uno che non la gestisce implica la distruzione della topologia, ma i dati restano geometricamente perfetti.*

## 9 - Gestione dell'incongruenza multilayer

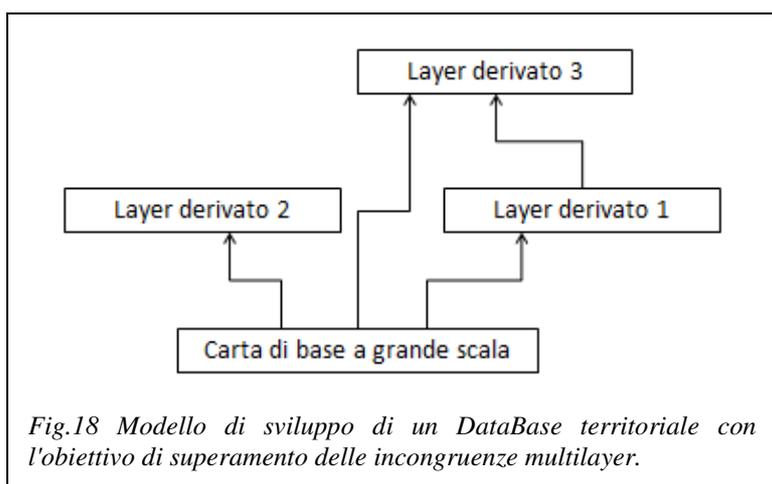
Come abbiamo visto al par.1, esiste un tipo di incongruenza che coinvolge non un singolo layer in quanto tale, ma un layer rispetto ad un altro; due layer possono essere ciascuno topologicamente corretto, ma possono presentare incongruenze quando sono messi in relazione.

Il caso si verifica quando esiste una realtà sul terreno dove una forma (ad esempio una linea) è parte di oggetti appartenenti a più layer. L'esempio del par.1 riportava il caso di un tratto di costa che rappresenta un bordo per il layer dei limiti amministrativi, per quello delle aree protette, quello delle aree demaniali, quello dei dati catastali, ecc. Poichè tale forma è la stessa, ci aspetteremmo di trovare esattamente le stesse coordinate nei diversi layer. Questo ovviamente non accade e così può capitare che, lanciato un certo algoritmo, troviamo che esistono linee di costa che dividono l'area di un Comune o particelle catastali sta stanno in parte sulla terra e in parte sul mare.

Come nel caso dell'incongruenza monolayer, i dati rientrano nelle tolleranze geometriche richieste, e quindi non si può parlare di errore nei dati.

La soluzione di questo problema è estremamente complessa sia per una questione algoritmica, sia, soprattutto, per motivi organizzativi in quanto richiederebbe un ferreo coordinamento tra i produttori di dati.

Alcune esperienze fanno riferimento ad un modello di sviluppo come quello di fig.18. Esso si basa sulla



*Fig.18 Modello di sviluppo di un DataBase territoriale con l'obiettivo di superamento delle incongruenze multilayer.*

disponibilità di una cartografia di base a grande scala (p.es. una Carta tecnica in scala 1:2000) e sull'ipotesi che su tale carta sia riportata tutta l'informazione possibile relativa al territorio; se questo è vero, qualunque ulteriore informazione dovrebbe essere costituita da tratti già presenti sulla carta di base. Pertanto se ci si vincola a descrivere qualunque oggetto come formato dai tratti già esistenti, senza introdurre nuovi tratti, può sembrare possibile che l'incongruenza ipotizzata non compaia mai.

In realtà questo non può accadere per tanti motivi tra cui:

- nella costruzione di un layer coi tratti della carta di base è sempre possibile commettere un errore, cioè scegliere un tratto sbagliato
- vincolare a questo modello di evoluzione di un DB geografico tutti i soggetti che producono informazione territoriale relativa alla stessa area è organizzativamente impossibile
- è sempre possibile che un layer necessiti di tratti che non sono presenti nella carta di base (p.es. nel caso della pianificazione territoriale)
- l'interdipendenza che si viene a creare tra diversi layer derivati implica, nel caso di aggiornamenti della carta di base, la modifica a cascata di un numero imprecisato di layer derivati, con conseguenze anche amministrative

Alcuni SW GIS possiedono funzioni che permettono di adattare una certa linea (tipicamente di un layer derivato) ad un'altra linea (tipicamente di un layer di riferimento). Il funzionamento di tali SW può essere soddisfacente in alcuni casi molto semplici, ma dà risultati assolutamente inaffidabili nei casi reali.

Il problema dell'incongruenza multilayer è dunque, allo stato attuale, un problema irrisolto. L'approccio che appare più promettente è quello della metafora del par.1, cioè la simulazione dell'approccio umano; un operatore, di fronte a incongruenze del tipo descritto, si comporterebbe gestendo, mentalmente, le tolleranze associate ai dati e sarebbe quindi in grado di capire se una linea presente in due layer diversi corrisponde, sul territorio, alla stessa forma o a due forme diverse; questo approccio, cioè la gestione delle tolleranze, dovrebbe essere la base di algoritmi di una nuova generazione.

I SW esistenti sono capaci, però, di attivare una serie di controlli per verificare la presenza di incoerenze multilayer tramite funzioni che rispondono a domande del tipo:

- esiste un layer puntuale A e le varie entità di questo layer devono giacere su tratti di linea presenti nel layer lineare B. Esistono punti di A che non rispettano questa condizione?
- Esiste un layer areale C che non deve avere aree multipart. Esistono aree di C che non rispettano questa condizione?

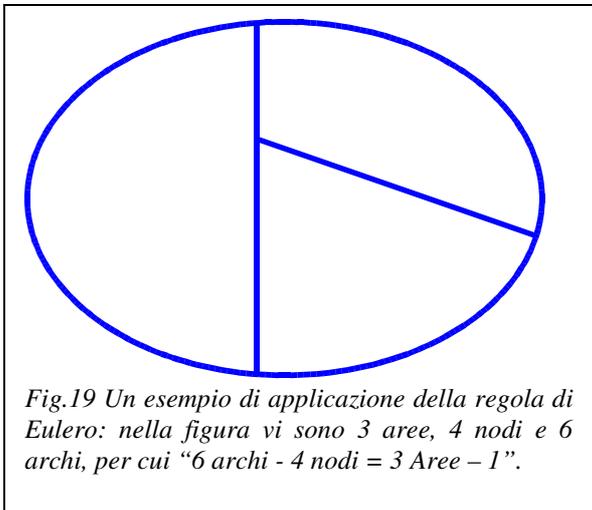
No si può dire che i SW che possiedono queste funzioni gestiscano la topologia, ma comunque permettono per lo meno di verificare eventuali incongruenze.

## 10 - La regola di Eulero

La regola di Eulero è una regola molto generale che definisce una relazione tra archi, nodi e aree di un grafo. Essa non viene direttamente usata nel mondo GIS, ma è utile per mettere a fuoco i concetti di Nodo, Arco e Area. Secondo tale regola

$$a - n = A - 1$$

dove a è il numero di archi, n il numero dei nodi, A il numero delle Aree.



La definizione di arco e nodo è più generale di quella usata parlando di topologia, nel senso che un punto isolato rispetta la regola (0 archi - 1 nodo = 0 Aree - 1) e analogamente una linea isolata (1 arco - 2 nodi = 0 Aree - 1). Nel caso di un'unica area, essa si intende formata da un arco che si chiude su se stesso in un nodo; in tale caso si ha che 1 arco - 1 nodo = 1 Area - 1.

La regola di Eulero, inoltre, tollera i falsi nodi. Infatti, data una qualunque figura dove esistano archi, se inseriamo in un arco un falso nodo avremo un nodo in più e un arco in più, per cui la differenza a-n resterà invariata. Se ad esempio in fig.19 avessimo un nodo nel punto più a sinistra della figura, sull'arco a semicerchio, avremmo sempre 3 aree, ma 5 nodi e 7 archi. La formula sarebbe quindi verificata,

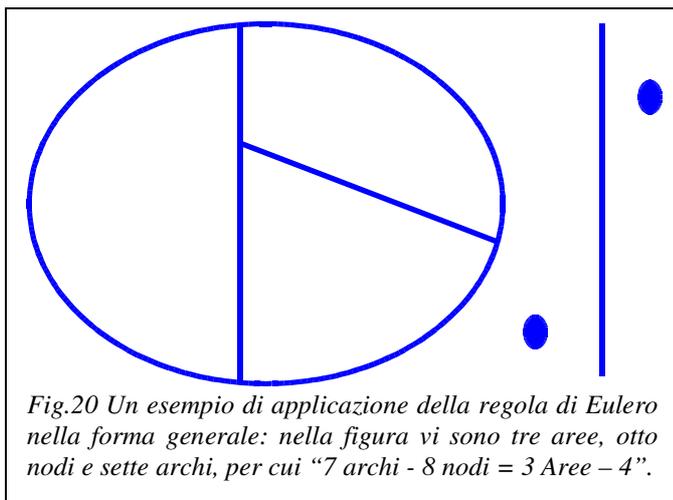
ma il punto ipotizzato è un pseudonodo in quanto i valori Area\_Sin e Area\_Den dei due archi in cui viene diviso l'arco a semicerchio sarebbero identici. Tale ipotetico punto quindi è inutile e quindi concettualmente errato.

La formula di Eulero, così com'è riportata, vale nel caso in cui tutti gli elementi grafici si tocchino (insieme connesso). Se ciò non accade, vale una forma più generale della formula di Eulero:

$$a - n = A - nic$$

dove nic indica il numero degli insiemi connessi. Nella versione breve, come si è visto, nic è uguale a 1.

Nella fig.20 è presente l'area della figura precedente, una linea e due punti. In totale 7 archi, 8 nodi e 3 Aree. Se consideriamo che in questo caso  $Nic = 4$ , la formula è ancora verificata.



Infine un'ultima riflessione.

Scriviamo la formula di Eulero nella versione generale, ma applicata ad un insieme di soli nodi: si ha

$$nic = nodi$$

Facciamo la stessa operazione per un insieme di archi, che ovviamente comprendono anche nodi: si ha

$$nic = nodi - archi$$

Nel caso di aree si ha:

$$nic = nodi - archi + aree$$

e se ipotizziamo anche la primitiva volume:

$$nic = nodi - archi + aree - volumi$$

La formula di Eulero si può quindi esprimere in un modo più generale e più elegante come

$$nic = \sum S_k \cdot P^k$$

dove  $S_k$  è +1 se k è pari e -1 se k è dispari

dove  $P^k$  è una primitiva vettoriale di dimensione spaziale k.