

Paolo Mogorovich

Sistemi Informativi Territoriali

Appunti dalle lezioni

Versione 3.216

Indice

- 1 - **Caratteristiche dell'informazione geografica**
 - 1.1 - **Il punto di vista spaziale**
 - 1.2 - **Organizzazione dell'informazione geografica**
 - 1.3 - **La costruzione delle classi**
 - 1.4 - **Georeferenziazione diretta e indiretta**
 - 1.99 - **Caratteristiche dell'informazione geografica – Autovalutazione**

- 2 - **Cartografia e tecnologia GIS**
 - 2.1 - **Cartografia e GIS: la rappresentazione degli oggetti**
 - 2.2 - **Metodi di trasposizione dell'informazione da Cartografia disegnata a GIS**
 - 2.3 - **Cartografia numerica, cartografia disegnata e GIS**
 - 2.99 - **Cartografia e tecnologia GIS – Autovalutazione**

- 3 - **Elementi organizzativi e culturali**
 - 3.1 - **La condivisione dei dati**
 - 3.2 - **Il ciclo di vita dei dati**
 - 3.3 - **SIT come Organizzazione**
 - 3.99 - **Elementi Organizzativi e Culturali - Autovalutazione**

- 4 - **Definizioni**
 - 4.1 - **Le componenti fondamentali di un sistema GIS**
 - 4.2 - **Definizioni**
 - 4.3 - **Utilizzo della tecnologia GIS**

- 5 - **Le primitive geometriche vettoriali**
 - 5.1 - **Primitive geometriche vettoriali**
 - 5.2 - **Il Punto**
 - 5.3 - **La Linea**
 - 5.4 - **L'Area**
 - 5.5 - **Gli attributi**
 - 5.99 - **Primitive geometriche vettoriali - Autovalutazione**

- 6 - **La Topologia**
 - 6.1 - **La geometria imperfetta**
 - 6.2 - **La primitiva arco**
 - 6.3 - **La topologia delle aree**
 - 6.4 - **La geometria perfetta**
 - 6.5 - **La topologia delle linee**
 - 6.6 - **I concetti base della topologia**
 - 6.7 - **Modelli topologici**
 - 6.8 - **Sistemi topologici e sistemi non topologici**
 - 6.9 - **La regola di Eulero**
 - 6.99 - **La topologia - Autovalutazione**

- 7 - **Il Modello Raster**
 - 7.1 - **Modellazione Raster dello Spazio**
 - 7.2 - **Il layer raster**
 - 7.3 - **Da raster a vector**
 - 7.4 - **Vari tipi di immagini**
 - 7.99 - **Il modello raster – Autovalutazione**

- 8 – **Funzionalità tecniche**
 - 8.1 - **Funzionalità tecniche**
 - 8.99 - **Funzionalità tecniche – Autovalutazione**

- 9 – **Fonti di informazione**
 - 9.1 - **I tipi di fonti di informazione**
 - 9.2 - **Revisione del modello dati**
 - 9.99 - **I tipi di fonti informative – Autovalutazione**

- 10 – **Strumenti e tecniche di acquisizione**
 - 10.1 - **Tavolo digitalizzatore**
 - 10.2 - **Lo scanner**
 - 10.3 - **Coordinate strumentali e coordinate reali**
 - 10.4 - **Il processo di acquisizione**
 - 10.5 - **Lo sfoltimento**
 - 10.6 - **Acquisizione a video**
 - 10.7 - **Acquisizione di dati vettoriali tramite scanner da cartografia esistente**
 - 10.8 - **Confronto tra tecniche di acquisizione**
 - 10.99 - **Strumenti e tecniche di acquisizione – Autovalutazione**

- 11 – **Tipi di funzioni**
 - 11.1 - **Tipi di funzioni**
 - 11.2 - **La risposta delle funzioni**

- 12 – **La selezione**
 - 12.1 - **La selezione**
 - 12.2 - **Selezione tramite puntamento**
 - 12.3 - **Selezione con condizione alfanumerica**
 - 12.4 - **Selezione con condizione geografica 1 (stesso strato)**
 - 12.5 - **Selezione con condizione geografica 2 (strati diversi)**
 - 12.6 - **Selezione con condizione mista**
 - 12.99 - **La Selezione – Autovalutazione**

- 13 – **Trasformazioni Raster-Vector**
 - 13.1 - **Trasformazioni Raster-Vector**
 - 13.2 - **Trasformazione di Aree da Vector a Raster**
 - 13.3 - **Trasformazione di Linee da Vector a Raster**
 - 13.4 - **Trasformazione di Punti da Vector a Raster**
 - 13.5 - **Trasformazione di Linee da Raster a Vector**
 - 13.6 - **Trasformazione di Aree da Raster a Vector**
 - 13.7 - **Trasformazione di Punti da Raster a Vector**
 - 13.99 - **Trasformazioni Raster-Vector – Autovalutazione**

- 14 – **Map Algebra**
 - 14.1 - **Definizione di Map Algebra**
 - 14.2 - **Operatori locali**
 - 14.3 - **Operatori zonali**
 - 14.4 - **Operatori focali**
 - 14.5 - **Operatori globali**
 - 14.6 - **Operatori di utilità**
 - 14.99 – **Map Algebra – Autovalutazione**

- 15 – Principi dell'operazione di incrocio**
 - 15.1 - Relazioni spaziali tra oggetti**
 - 15.2 - Incrocio per esclusione**
 - 15.3 - Incrocio pesato**
 - 15.4 - Incrocio per trasferimento degli attributi**
 - 15.5 - Confronto fra i tre tipi di incrocio**

- 16 – Incrocio vettoriale tra aree**
 - 16.1 - Incrocio vettoriale tra aree**
 - 16.2 - Il risultato dell'operazione di incrocio**
 - 16.3 - Controllo dell'operazione di incrocio**
 - 16.4 - La gestione degli attributi**
 - 16.99 - Operazione di Incrocio - Autovalutazione**

- 17 – Incrocio tra primitive diverse**
 - 17.1 - Incrocio tra primitive diverse**
 - 17.2 - Incrocio aree con linee**
 - 17.3 - Incrocio aree con punti**
 - 17.4 - Altri incroci**

- 18 – Area di rispetto**
 - 18.1 – Area di rispetto**
 - 18.99 – Area di rispetto - Autovalutazione**

- 19 – Il modello di elevazione del terreno**
 - 19.1 – Il modello di elevazione**
 - 19.2 - La costruzione di un DEM**
 - 19.3 - Dati derivati da DEM**

Introduzione

Questo testo nasce come una serie di appunti presi durante le lezioni sul tema dei Sistemi Informativi Territoriali, tenute allo IUAV di Venezia, al Dipartimento di Informatica dell'Università di Pisa e in una serie di altri corsi e seminari.

Così nato, il testo presenta una serie di difetti. È incompleto, alcuni temi non sono trattati o sono solo superficialmente accennati e soprattutto è disomogeneo, in quanto risente delle necessità didattiche. In pratica vale la definizione: non è un testo, è una serie di appunti. Per altri aspetti questa impostazione permette di rivedere parti poco chiare, di inserire aggiornamenti dovuti allo sviluppo scientifico e al progresso tecnologico ed eliminare parti superate, anche se questo è comprensibilmente assai più difficile.

Sempre legato alla natura del materiale, questi appunti compaiono in successive versioni. Questa è la 3.216 che banalmente vuol dire che la sua "edizione" è del 16 febbraio 2003.

Presentare una disciplina con un forte connotato tecnologico non è semplice; si corre il rischio di descrivere, magari anche in modo corretto e approfondito, una serie di possibilità tecniche, senza presentare anche i principi che sottendono il settore. Di fatto la tecnologia dei Sistemi Informativi Territoriali nasce dall'evoluzione e dalla sinergia di principi propri della cartografia e dei Data Base, e anche di altre discipline, oltre che da concetti, come lo spazio, propri della natura umana. Cercare una relazione tra ciò che è più profondo e ciò che galleggia, e mantenere sempre vivo questo rapporto è una particolare attenzione di chi scrive.

Ulteriore caratteristica dei Sistemi Informativi Territoriali è la loro dipendenza operativa da contesti organizzativi coscienti e strutturati, senza i quali non tanto le operazioni geografiche, ma soprattutto quelle più generali di integrazione di informazione diversa non possono esistere. Questi contesti, a loro volta, non sono il risultato dell'applicazione meccanica di modelli organizzativi, ma il risultato di un approccio culturale volto all'interdisciplinarietà, per cui si valorizza il lavoro altrui accettandolo nel proprio contesto e si offre senza remore agli altri il risultato del proprio.

Dal lato opposto a questi concetti si trova l'operatività, l'utilizzo degli strumenti. Questa parte, basata sull'uso di software specifico e sull'analisi di dati reali, non può esserci in questi appunti, ma il lettore la deve ritenere un indispensabile complemento ad una corretta comprensione.

Questi appunti, infine, sono il risultato di un lavoro che mi ha visto circondato da un numero notevole di collaboratori; da coloro che mi hanno dato l'opportunità di esprimere e diffondere queste conoscenze, a coloro che mi hanno aiutato nelle attività più concrete, negli aspetti organizzativi, nella preparazione dei materiali. A tutti va naturalmente il mio ringraziamento. Ma ritengo che più di tutti mi abbiano aiutato coloro che, ascoltando le lezioni, con le loro osservazioni, critiche, coi risultati degli esami hanno creato un flusso continuo di ritorni che questi appunti accolgono. A loro, gli studenti, questi appunti sono dedicati.

Paolo Mogorovich

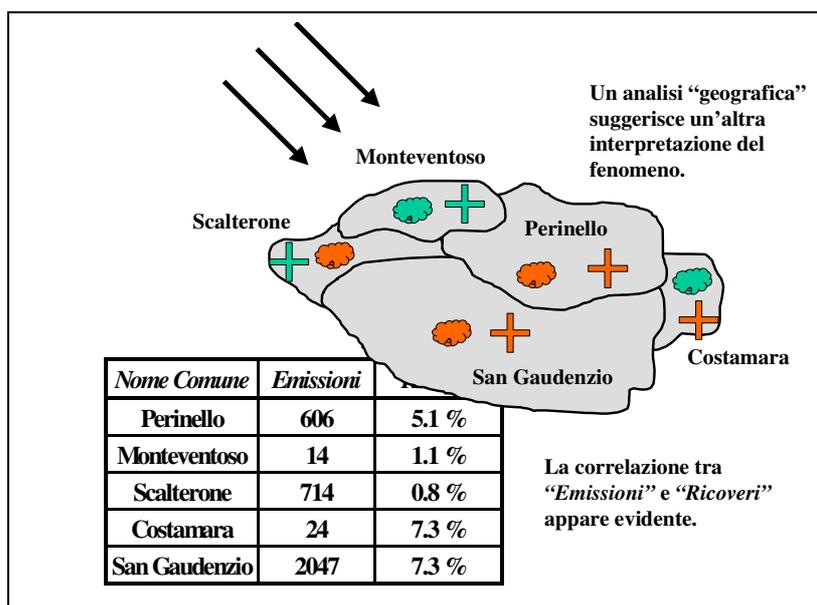
1.1 - Il punto di vista spaziale

Se si analizzano con metodi unicamente statistici alcuni fenomeni non si può capire facilmente se tra di essi esiste una relazione.

Nome Comune	Emissioni SO ₂ (ton / giorno)	Ricoveri (su pop.tot) per malattie resp.
Perinello	606	5.1 %
Monteventoso	14	1.1 %
Scalterone	714	0.8 %
Costamara	24	7.3 %
San Gaudenzio	2047	7.3 %

Se ad esempio si confrontano, tramite una tabella, dati unicamente numerici che danno informazioni su emissioni di inquinante e conseguenze sulla salute degli abitanti, su base comunale, è molto probabile che non si trovi alcuna correlazione tra i due fenomeni. Al contrario un'analisi di tipo geografico che tenga conto della forma dei comuni, dell'adiacenza tra di essi o dell'essere uno sottovento rispetto all'altro evidenzia relazioni prima solo sospettabili. Il punto debole di un approccio

unicamente statistico, in questo caso, sta proprio nel non tener conto delle relazioni spaziali citate; il punto di vista spaziale, invece, che è in grado di tener conto di esse, permette un approccio più proficuo.



Un altro esempio è quello della ricerca di correlazione tra la misura di presenza di inquinante in un fiume e una serie di scarichi. Anche in questo caso un'analisi puramente tabellare non permette di fare ipotesi sulla correlazione tra scarichi inquinamento; viceversa un'analisi di tipo

geografico, che permetta di vedere la distribuzione lungo il fiume degli scarichi e delle stazioni di misura permette di ottenere il risultato cercato. L'approccio spaziale, in questo caso, permette di esprimere le relazioni "essere a monte rispetto a" tra una coppia di punti appoggiati non solo sull'asta principale, ma anche sugli affluenti.

Nella vita reale tutti utilizziamo spesso inconsciamente analisi di tipo geografico nelle azioni più varie: ricerca del percorso ottimo tra due punti, ricerca del parcheggio che ottimizzi il tempo globale (auto + cammino) per raggiungere un luogo, ecc., e, a livello diverso, l'allocazione di industrie a rischio nelle aree più adatte, ottimizzazione della localizzazione delle fermate dell'autobus, ottimizzazione dei percorsi per la raccolta dei rifiuti, ecc.

Le operazioni che implicano un'analisi geografica si fanno tradizionalmente utilizzando una carta, o più in generale tramite una visione geografica del campo d'azione. Questo approccio si basa sul principio di vedere "insieme" oggetti "diversi", cosa che accade normalmente quando guardiamo una carta; in questa condizione eseguiamo mentalmente operazioni di tipo "spaziale", quali essere vicino, essere adiacente, essere dentro, essere visibile, ecc. Questo concetto di "vedere contemporaneamente oggetti diversi", così naturale sulla carta, si riporta in modo praticamente identico negli strumenti informatici che trattano dati spaziali.

1.2 - Organizzazione dell'informazione geografica

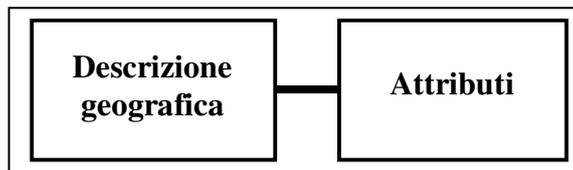
La "strada" è un tipico oggetto territoriali, in quanto, come è evidente, il suo sviluppo sul territorio è una parte significativa della descrizione dell'oggetto stesso.

Se consideriamo una strada in modo "non spaziale", possiamo descriverla tramite il suo nome, la sua lunghezza, la larghezza media, il costo annuo di manutenzione, il numero totale di incidenti, ecc. Tali dati stanno tipicamente in una tabella e sono costituiti da stringhe o da numeri. L'elaborazione di questi dati può portarmi a conoscere grandezze derivate, come la superficie totale (approssimata), il numero di incidenti per chilometro, ecc.

Se consideriamo la strada in una logica "spaziale", le informazioni che ci viene naturale trattare sono di altro tipo; ad esempio se attraversa un centro abitato, quali altre strade incrocia, quali piazze attraversa, qual è il massimo dislivello, ecc. Rispetto all'approccio non spaziale, si trattano evidentemente informazioni di tipo diverso e un aspetto interessante consiste nel fatto che mentre le informazioni dell'approccio non spaziale descrivono l'oggetto "in quanto tale", quelle dell'approccio spaziale descrivono l'oggetto in relazione ad altri oggetti, sia dello stesso tipo che di tipi diversi.

Le relazioni tra l'oggetto originario e altri oggetti sono in realtà il risultato di un'elaborazione che è naturale per un osservatore che analizza una carta, e che derivano sempre dalla possibilità di vedere insieme oggetti diversi. Questa elaborazione si basa sul fatto che l'oggetto è appoggiato sul territorio e che questo appoggio è descritto tramite coordinate.

Quanto detto fa capire che gli oggetti che sono appoggiati sul territorio (e che quindi riusciamo a rappresentare su una mappa) sono caratterizzati dal fatto di possedere due tipi di informazione, diverse e integrate; un'informazione geografica e una descrittiva (gli attributi). Per esempio un edificio porta un'informazione geografica consistente nella sua posizione sul territorio e una descrittiva consistente nella sua tipologia; analogamente una strada, una sezione di censimento, un lago, un traliccio, ecc. L'informazione geografica si visualizza tramite una rappresentazione cartografica, quella descrittiva tramite una tabella che riporta i valori degli attributi.



Chiamiamo questa struttura con la sigla **(G-A)**.

La parte geografica e quella descrittiva sono concettualmente diverse; certi software memorizzano i due tipi di dati in due diversi DBMS, altri all'interno di un unico DBMS, ma anche in quest'ultimo caso la differenza concettuale tra i due tipi di informazione rimane.

Infatti, sulla parte descrittiva, che contiene "valori" attribuiti a caratteristiche dell'oggetto possiamo applicare operatori di tipo tradizionale. Possiamo cioè confrontare oggetti diversi confrontando i valori della parte descrittiva: per esempio:

L'edificio E1 ha più vani dell'edificio E4 ?

Quante strade in quest'area sono non asfaltate ?

Sulla parte geografica possiamo applicare operatori diversi e relativamente nuovi per il mondo dell'informatica, quali la "vicinanza", la "adiacenza", la "connessione", ecc. Per esempio:

Il Comune D1 confina col Comune R7 ?

La strada A1 è connessa con la strada A11 ?

Gli operatori che agiscono sulla parte geografica possono essere di tipo geometrico, topologico o strettamente geografico; quelli che agiscono sulla parte descrittiva possono essere di tipo aritmetico, statistico, trattamento di stringhe, ecc.

La struttura (G-A) quindi permette di sfruttare la potenzialità di una serie di nuovi operatori detti "spaziali" e di integrare tali potenzialità con quelle degli operatori che agiscono nel campo dei valori alfanumerici tradizionali.

Gli oggetti di una mappa sono logicamente raggruppati in classi, ciascuna delle quali contiene al suo interno dati omogenei (la classe delle strade, quella dei tralicci, ecc.). All'interno di una classe sono contenuti più oggetti non necessariamente identici, anzi in genere ciascuno con una sua propria caratterizzazione in termini geografici (diversa posizione e forma) e descrittivi (un tratto di strada statale, o provinciale, o non asfaltata, ecc.). Le classi sono dette anche strati o livelli informativi (in inglese layer).

Una classe di oggetti è caratterizzata dall'avere una rappresentazione geometrica e una struttura di attributi ben definita. Ad esempio una classe "strade" potrà essere definita da elementi lineari e da attributi che indicano il tipo e il nome della strada, il numero e la pavimentazione. Ciascun'istanza di strada avrà naturalmente una linea sua caratteristica che la posiziona nello spazio e valori specifici per i quattro attributi; tuttavia tutte le istanze saranno descritte da linee e dai quattro attributi. Non ci potranno essere attributi diversi per una certa istanza e ciascuna istanza avrà tutti e tre gli attributi (eventualmente "valore ignoto").

Considerando l'esistenza di molti strati informativi, la sigla prima adottata si trasforma in

n*(G-A).

Consideriamo oggetti appartenenti a livelli informativi diversi, p.e. strade ed edifici. Ciascuno di essi ha una struttura (G-A). La parte "A" è strutturata diversamente per le due classi: mentre la parte descrittiva della classe "strade" descriverà, ad esempio, il tipo di pavimentazione della strada, il suo nome, la larghezza, ecc., la parte descrittiva della classe "edifici" descriverà la destinazione d'uso dell'edificio, la sua altezza, il numero di vani presenti, ecc. Se la parte "A" è molto diversa per le due classi, al contrario la parte "G" è strutturata in modo molto simile; infatti, qualunque sia la classe, la descrizione geografica si basa su un unico criterio: le coordinate geografiche che esprimono lo sviluppo di una casa sono scritte nello stesso "linguaggio" di quelle che esprimono la curva di una strada.

Questa caratteristica permette di applicare operatori spaziali a oggetti appartenenti a classi diverse; mentre in assenza di informazione spaziale non siamo in grado di mettere in relazione oggetti diversi, sfruttando il comune linguaggio con cui è codificata l'informazione spaziale possiamo confrontare, correlare, collegare, tramite operatori, oggetti eterogenei.

Gli operatori che agiscono su oggetti appartenenti a strati diversi sono la versione algoritmica di quello che facciamo quando, guardando una carta, mettiamo in relazione entità eterogenee. Tuttavia sulla carta i tipi di oggetti eterogenei e le loro caratteristiche sono limitati, mentre in una logica GIS non abbiamo, da questo punto di vista, alcun limite concettuale.

1.3 - La costruzione delle classi

Una classe, all'interno di un Data Base geografico, contiene un certo numero di oggetti aventi certe caratteristiche di omogeneità; questa omogeneità si esprime principalmente attraverso il tipo di primitiva, in genere unico per tutte gli oggetti, e gli attributi. Il tipo di primitiva e i tipi di attributi costituiscono il tipo di oggetto; all'interno del DataBase troveremo in quella classe tanti oggetti di quel tipo.

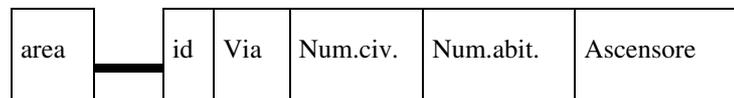
Supponiamo di definire una classe per descrivere gli edifici presenti sul territorio, dedicati ad uso abitativo. Le caratteristiche della classe potrebbero essere così descritte:

Parte geografica:	
primitiva geometrica:	area
Parte descrittiva:	
attributo 1:	"ID" identificatore (numero)
attributo 2:	"VIA" via su cui l'edificio ha l'accesso principale (stringa)
attributo 3:	"NC" numero civico dell'accesso principale (stringa)
attributo 4:	"NAB" numero delle persone che abitano nell'edificio (numero)
attributo 5:	"ASC" indicatore della presenza di un ascensore (binario)

Questa struttura descrive "l'oggetto tipo" e ciascun oggetto appartenente alla classe la rispetta nel senso che ogni istanza, cioè la descrizione di ogni singolo edificio, sarà formata da una primitiva geometrica areale, da un identificatore numerico, da una stringa che indica la via, ecc.

Nessun'istanza avrà una descrizione più ricca di quella definita, mentre, al contrario, non è detto che ciascuna istanza possieda valori per ciascun attributo; in pratica un attributo può essere obbligatorio o facoltativo e questo fa parte della descrizione della classe.

Per descrivere una classe si usa a volte una simbologia grafica molto semplice e intuitiva, che, nel caso considerato, è la seguente:



Questa simbologia è l'espansione di quella più generale definita al paragrafo precedente.

All'interno del Data Base Geografico dobbiamo immaginare poi di avere un numero indefinito di oggetti che condividono questa struttura, che possiamo rappresentare nel modo seguente

area	id	VIA	NC	NAB	ASC
	1	B.Bruno	1.	12	SI
	2	B.Bruno	3	15	SI
	3	B.Bruno	5	4	NO
	4	B.Bruno	7	18	SI

La definizione delle classi non è sempre semplice, in quanto non è sempre chiara una linea di demarcazione tra i diversi tipi di oggetti.

Supponiamo, ad esempio, di aver a che fare con una classe di edifici di diversa tipologia: edifici destinati ad uso abitativo e edifici destinati ad attività industriale. Supponiamo ancora che gli elementi conoscitivi di nostro interesse per le abitazioni siano quelli descritti precedentemente, mentre, per quanto riguarda gli

edifici industriali, interessi conoscere la Via, il Numero Civico, il numero di impiegati e la lavorazione prevalente.

Nel definire il modello della banca dati abbiamo due possibilità: o definire un'unica classe per ambedue i tipi di edifici o definire una classe per ciascun tipo di edificio. Il secondo caso non presenta alcuna complessità particolare; nel primo caso, invece, il nostro modello dati dovrà essere il seguente:

area	id	Tipo	Via	Num.civ.	Num.abit.	Ascensore	Num.imp.	Lavorazione
------	----	------	-----	----------	-----------	-----------	----------	-------------

Questo modello dati implica, nel nostro caso particolare, quanto segue:

1. è necessario un campo "Tipo" per indicare se l'edificio ha destinazione abitativa o industriale (questo non sarebbe necessario nell'altra ipotesi); questo campo può assumere solo due valori: "abitativo" o "industriale"
2. in tutte le istanze in cui "Tipo" assume il valore "abitativo" i campi "Num.Imp" e "Lavorazione" sono vuoti;
3. in tutte le istanze in cui "Tipo" assume il valore "industriale" i campi "Num.abit" e "Ascensore" sono vuoti.

area	id	TIPO	VIA	NC	NAB	ASC	NIMP	LAVPR
	1	abitativo	Puccini	1	12	Si		
	2	abitativo	Puccini	3	44	Si		
	3	industriale	Puccini	3a			44	servizi
	4	abitativo	Puccini	3b	6	No		
	..	abitativo	Puccini	5	11	Si		
		industriale	Puccini	7			19	servizi

Questo causa un certo spreco di memoria e implica probabilmente la necessità, in fase elaborativa, di prevedere qualche controllo o qualche piccola personalizzazione. Questi svantaggi sono compensati dal fatto di avere un'unica classe invece di due classi.

Il problema che abbiamo è pertanto quale strategia usare nel caso in cui si abbiano molte classi di oggetti lievementi differenti uno dall'altro: definire una classe per ciascun oggetto rende macchinosa e noiosa l'interazione con lo strumento informatico, mentre un accorpamento deciso rende eterogenea la classe. Nella scelta della strategia intervengono anche altri fattori quali:

- l'uso o meno della stessa primitiva geometrica per le varie classi elementari
- l'esistenza o meno di un'unica fonte di dati per le varie classi elementari
- la diversa stabilità nel tempo delle varie classi elementari
- la diversità di documentazione delle varie classi elementari
- ecc.

Di fatto non esiste una strategia definibile a priori, ma un'attenta analisi delle classi, le capacità del SW disponibile e soprattutto l'uso che si farà dei dati aiuteranno nella scelta ottimale. Nell'esempio proposto precedentemente, ad esempio, poiché il vantaggio di avere un'unica classe invece di due è modesto, la scelta migliore sarebbe di tenere le due classi separate.

E' infine da osservare che questo problema si presenta nel caso di abbondanza di informazione (molte classi e per ciascuna classe molti attributi). Nel caso in cui un insieme di classi abbiano pochi attributi, l'accorpamento è tecnicamente più semplice.

1.4 - Georeferenziazione diretta e indiretta

A volte l'informazione geografica appare in modo indiretto, non tramite coordinate geografiche, ma tramite descrizione di altre entità spaziali di cui o non serve conoscere coordinate geografiche, o si suppone di conoscerle da un'altra fonte. Casi tipici sono l'indirizzo (Via e Numero Civico) e il Codice di Avviamento Postale.

La georeferenziazione indiretta espressa tramite Via e Numero Civico (abbreviato in VNC) è di particolare importanza; infatti esiste una quantità enorme di oggetti/eventi che, per motivi amministrativi, possiedono tale tipo di georeferenziazione. Informazioni quali "dove una persona abita", "dove lavora", "dove è stato commesso un furto", "dove perviene un finanziamento", sono esempi di descrizioni di entità/eventi di cui si conosce una georeferenziazione indiretta.

La georeferenziazione indiretta si esprime tramite gli attributi di una tabella, come se fosse una parte descrittiva. Su questi attributi è possibile eseguire operazioni che sono un po' a cavallo tra operazioni tradizionali e operazioni descrittive (queste operazioni utilizzano operatori non geografici); per eseguire operazioni geometriche, invece, occorre trasformare la georeferenziazione indiretta in georeferenziazione diretta. Per questo è necessaria una mappa.

La figura riporta un semplice indirizzario, dove l'insieme di attributi Via+Numero_Civico+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, ma può essere anche trasformato in coordinate conoscendo una mappa della città.

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

Sui dati codificati in maniera indiretta si possono compiere operazioni non geografiche di ricerca tabellare, come ad esempio:

Quante persone hanno età compresa tra 20 e 30 anni ?

oppure operazioni che possiamo definire "quasi geografiche" eseguibili tramite una ricerca tabellare; ad esempio:

Quante persone abitano in Via Rosai ?

mentre altre operazioni, anch'esse geografiche, richiedono di poter appoggiare su una mappa l'informazione VNC, trasformandola in coordinate, come ad esempio:

Chi abita più vicino a Paolo Francia ?

La traduzione da georeferenziazione indiretta in georeferenziazione diretta, cioè da VNC a coordinate, può avvenire in modo abbastanza rapido tramite tabelle di conversione, dette geovocabolari, che trasformano un valore di VNC in un punto. Tali tabelle, di cui si riporta un esempio, derivano da una conoscenza del territorio a grande scala (almeno 1:5000).

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

Sempre a titolo di esempio riportiamo un frammento di mappa coerente con il geovocabolario delle figura precedente. Naturalmente la mappa è inquadrata in un sistema di riferimento che ha permesso di ricavare, dalla posizione del numero civico, le sue coordinate. Si noti, nella figura, il particolare criterio usato per la modellazione dell'entità "numero civico".



1.99 - Caratteristiche dell'informazione geografica – Autovalutazione

1. Siete persuasi della pervasività della parte spaziale nell'informazione che trattiamo? Perché?
2. Qual è la struttura dell'informazione geografica in termini di “tipo di informazione”? quali “nuovi” operatori esistono?
3. Fornire alcuni esempi di informazione territoriale distinguendo la parte geografica da quella descrittiva
4. Perché l'informazione territoriale si divide in “strati informativi”? Che differenza c'è tra fare questo in uno strumento informatico o in una carta?
5. Con che criterio si organizzano gli strati informativi?
6. Quali altri nomi si danno agli strati informativi?
7. Qual è il significato della sigla n*(G-A) ?
8. Cosa vuol dire che la tecnologia GIS integra informazioni eterogenee?
9. Che differenza c'è, rispetto ad un sistema informatico tradizionale, nell'integrare informazioni eterogenee?
10. Che tipo di informazione è “via e numero Civico”? Quali operazioni geografiche si possono operare su di esso?

2.1 - Cartografia e GIS: la rappresentazione degli oggetti

Dall'analisi di una cartografia disegnata è possibile comprendere come su una mappa siano disegnati oggetti con una simbologia tale da permetterne l'associazione a entità fisiche realmente presenti sul territorio. La tecnica di disegno permette di riconoscere il tipo di entità del mondo reale.

In una logica GIS è necessario cercare di comprendere il significato dei vari oggetti presenti sulla carta in modo da poter definire classi di oggetti e rappresentarli adeguatamente con gli strumenti informatici che abbiamo a disposizione.

Esistono alcune classi di oggetti presenti sulla mappa per le quali la rappresentazione cartografica si adatta ad una trasposizione tal quale nel mondo GIS (strade, edifici, acque superficiali, reti tecnologiche); in altre parole la rappresentazione di tali oggetti sulla carta avviene tramite primitive geometriche (aree, linee, punti) che possiamo immaginare di avere a disposizione in uno strumento informatico. Fanno parte di questa classe le strade, gli edifici, le curve di livello, punti quotati, fiumi e fossi, ferrovie, muretti e sostegni vari, separazioni tra culture, ecc.

Si noti che alcune primitive sulla carta sono una evidente trasposizione di oggetti fisici presenti sul territorio (strade, edifici), mentre altri segni grafici non sono oggetti tangibili sul territorio, ma piuttosto un'astrazione (p.e. le curve di livello) oppure descrivono solo parti significative di oggetti (p.e. le linee che indicano separazioni tra culture).

Si ricordi anche che la definizione delle classi non è univoca; ad esempio nel caso delle strade sarebbe possibile avere più classi (una per ogni tipo di strada) oppure una sola classe (con maggiore eterogeneità di oggetti) caratterizzando i vari tipi di strada tramite attributi. La scelta da operare è un compromesso tra la frammentazione in troppi strati e l'eterogeneità degli attributi, e comunque dipende dagli scopi per cui viene creata la banca dati.

Altri oggetti sembrano comportarsi analogamente al caso precedente: boschi o vigneti potrebbero essere rappresentati tramite aree. Però uno strato di "boschi" lascerebbe gran parte della carta vuota e descriverebbe solo le aree dove effettivamente esistono boschi. Si potrebbe invece generalizzare l'idea di bosco o vigneto in un concetto di "land cover", cioè descrivere quale è la "copertura del terreno in tutti i punti; se si fa così occorre definire ulteriori valori per la classe (agricolo, urbanizzato, area industriale, acque, incolto, ecc.) e serve la competenza di un interprete per definire certe aree dai bordi incerti, tipicamente il territorio urbanizzato.

Il caso delle Curve di Livello (CdL) fa pensare che ciò che è disegnato non rappresenta direttamente un oggetto vero. Infatti quando guardiamo una carta, le CdL ci danno una prima informazione di "pendenza", quindi una seconda di "esposizione" e finalmente, se guardiamo i valori associati alle CdL, abbiamo un'informazione di quota.

Le CdL sono una modellazione discreta (per limiti del mezzo espressivo cartografico) di un fenomeno continuo.

Se volessimo codificare in modo esplicito valori di pendenza ed esposizione che noi "vediamo" sulla mappa, dovremmo inventarci carta di pendenze e una carta di esposizioni. Vedremo successivamente che, con uno strumento GIS quote, pendenze e esposizioni potrebbero trovare un modo di codifica diverso.

Alcuni oggetti sulla carta non vengono riportati in un modello GIS: o perché è concettualmente errato (grigliato geografico), o perché è difficile da modellare (p.e. barbette), o perché non serve per quello che stiamo facendo (p.e. due bordi di strada invece che asse). Questi ultimi due casi dipendono dal modello dati che decidiamo di usare.

Il caso delle barbette è degno di una speciale discussione: si tratta di un'informazione morfologica di grande dettaglio, maggiore di quello delle CdL. Tuttavia trattandola come un'informazione morfologica non si saprebbe come rappresentarla, in quanto è un'informazione qualitativa. Potrebbe essere un "attributo" dell'oggetto a cui si appoggiano (fiume o strada), ma questa soluzione trasporterebbe un'informazione di un certo tipo (morfologica) all'interno di un altro oggetto, o ancora peggio di più

oggetti diversi. L'oggetto "barbetta", pertanto o viene acquisito soltanto per essere ridisegnato o più spesso viene ignorato.

Pertanto, portando informazioni dalla mappa in un sistema GIS abbiamo

- oggetti che si trasportano senza modificarne la struttura
- oggetti che si creano interpretando informazione non strutturata presente sulla carta
- oggetti che si creano elaborando dati che hanno un altro modello
- oggetti che si perdono

La diversità di rappresentazione è legata ai mezzi espressivi che abbiamo a disposizione: sulla carta il mezzo espressivo è la penna, per cui la tecnica di disegno è legata in modo inscindibile all'oggetto; in un sistema GIS esiste la possibilità di modellare le entità in modo più astratto e quindi più completo e corretto dal punto di vista semantico.

2.2 - Metodi di trasposizione dell'informazione da Cartografia disegnata a GIS

Su una mappa vediamo vari oggetti con le seguenti caratteristiche:

1. tecnica di disegno
2. tipologia
3. localizzazione
4. forma
5. attributi
6. relazioni spaziali.

Tali caratteristiche sono state espresse dal cartografo con gli strumenti espressivi che egli possiede, cioè la possibilità di tracciare un segno con certe specifiche caratteristiche (colore, spessore, tratteggio, ecc.) in un certo punto all'interno di un sistema di riferimento. Le stesse caratteristiche devono poter essere espresse anche da un progettista di un Data Base geografico, il quale possiede altri strumenti, che sono: la possibilità di definire strati informativi (o classi) diversi e di codificare informazione di tipo geografico e di tipo descrittivo.

Tecnica di disegno

La tecnica di disegno di un oggetto, informazione primaria nella preparazione di una carta, non è una caratteristica specifica dell'oggetto; le strade importanti in certe carte vengono disegnate in rosso, ma tale colore non è una caratteristica dell'oggetto strada, ma è legato alla sua rappresentazione secondo una certa convenzione. Non essendo una caratteristica dell'oggetto, pertanto, la tecnica di disegno non trova posto, in un sistema GIS, né tra gli attributi, né nella parte geografica. Tuttavia la tecnica di disegno è quella che ci permette di definire la tipologia di un'entità e anche qualche attributo relativo all'entità.

Tipo

Sulla carta un oggetto viene identificato dal modo in cui è disegnato: tale informazione si trova, in un sistema GIS, nel fatto che l'oggetto viene archiviato all'interno di uno strato dedicato a lui e agli oggetti dello stesso tipo in fase di progettazione del sistema.

Localizzazione

La localizzazione di un oggetto è definita da dove si trova il disegno dell'oggetto all'interno di un sistema di riferimento: in un sistema GIS la localizzazione è definita in modo completo dalle coordinate delle primitive grafiche che descrivono l'oggetto.

Forma

La forma di un oggetto sulla carta è insita nel graficismo (curve e segmenti) e, nel caso dei segmenti, dagli angoli che essi formano tra di loro; all'interno di un sistema GIS la forma è memorizzata nella parte geografica dell'oggetto, ma unicamente tramite la sequenza delle coordinate; gli strumenti GIS non codificano in genere alcuna caratteristica esplicita legata alla forma dell'oggetto. La forma di un oggetto viene percepita facilmente dall'operatore in caso di disegno, ma è molto più difficile risalire alla forma dell'oggetto direttamente dall'analisi delle coordinate.

Attributi

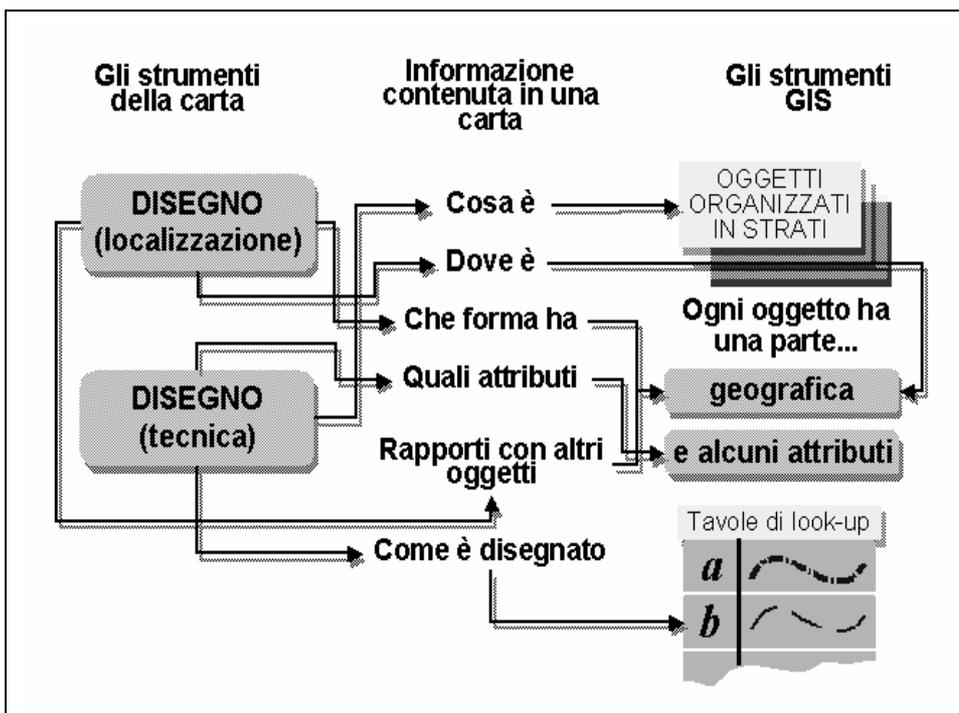
Sulla carta sono presenti i genere pochissimi attributi associati agli oggetti, o desumibili dalla tecnica di disegno o scritti come toponomastica; quelli presenti vengono ovviamente inseriti nella parte descrittiva dell'oggetto.

Rapporti con altri oggetti

I rapporti di un oggetto con altri oggetti sono percepiti, su una carta, dalla vicinanza o meno tra elementi grafici, dalla loro densità, dal loro allineamento, ecc.; all'interno di uno strumento GIS i rapporti tra oggetti sono, nel caso più semplice, memorizzati implicitamente nella parte geografica: in altre parole elaborando la parte geografica di oggetti diversi è possibile risalire ai rapporti tra di essi. Tuttavia questo tipo di informazione, in certi casi, è molto importante per un sistema GIS per cui alcuni rapporti spaziali tra oggetti possono essere memorizzati in modo esplicito nella parte geografica del dato. Il modo con cui questo avviene dipende anche dal tipo di software utilizzato.

Quando occorre disegnare un oggetto è necessario usare alcuni elementi grafici. L'associazione tra un oggetto gestito da uno strumento GIS e gli elementi grafici usati per disegnarlo avviene tramite tabelle di transcodifica (look-up table). Le tabelle di transcodifica non sono univoche e si possono usare tabelle diverse per disegnare lo stesso oggetto in funzione della scala e/o delle finalità del disegno.

Una tavola di look-up, intesa come associazione tra tipo e caratteristiche di un'entità e la sua rappresentazione, ricorda molto la "legenda" di una carta disegnata. In realtà le due cose sono una l'opposto dell'altra: su una carta disegnata la legenda permette, data la tecnica di disegno, di riconoscere il tipo di oggetto e le sue caratteristiche; in uno strumento GIS la tavola di look-up permette, dato un oggetto e le sue caratteristiche, di definire una tecnica di disegno.



2.3 - Cartografia numerica, cartografia disegnata e GIS

Col termine cartografia numerica si intende il trattamento di dati cartografici tramite tecnologie informatiche. In questo caso abbiamo a che fare con entità grafiche, gestite da un elaboratore, che riproducono i segni presenti sulla carta, o “elementi grafici tipizzati”, al contrario di uno strumento GIS che gestisce “entità semanticamente consistenti”.

L’informazione è strutturata in livelli, ciascuno dei quali contiene segni che descrivono entità dello stesso tipo; i livelli dipendono dal tipo di carta e possono essere molto numerosi. La quantità di livelli non è dovuta tanto ad una ricchezza semantica della carta, quanto alla necessità di disegnare le entità grafiche in modo diverso. Ad esempio le curve di livello primarie e le secondarie appartengono a livelli diversi. Ogni elemento grafico ha associati attributi che indicano la tecnica di disegno associata all’elemento stesso.

Un elemento caratterizzante della cartografia numerica consiste nel fatto che non esiste necessariamente un rapporto semantico tra un oggetto del mondo reale e una primitiva grafica, mentre esiste un attributo che indica a quale tipo di oggetto si riferisce il segno grafico. Non esiste quindi la primitiva grafica che descrive una specifica strada, ma una serie di segni che sono “elementi di strada”. In genere non è identificabile una specifica strada, mentre è possibile disegnare tutti gli elementi di tutte le strade di un certo tipo.



L’utilizzo di dati provenienti dal mondo della cartografia numerica per applicazioni GIS richiede una ristrutturazione del dato che può essere molto pesante. Gli elementi grafici che descrivono un edificio, per esempio, vanno accorpati in un’unica entità “area” che descrive l’edificio stesso e tra le due linee che nella cartografia numerica descrivono i bordi di una strada va “inventato”, in modo automatico se possibile, un nuovo elemento lineare che descrive l’asse stradale.

Per questo motivo esiste oggi una tendenza sempre più

marcata a produrre cartografia numerica in modo da avere una facile conversione in un contesto GIS. La lettura dei capitolati di appalto di cartografia numerica è da questo punto di vista interessante; spesso si richiede, insieme agli elementi grafici che descrivono i bordi di una strada, un elemento grafico, marcato come invisibile in fase di disegno, che descrive l’asse stradale; gli edifici sono identificati da aree anche se contigui; agli edifici è associata una quota di gronda (calcolata ovviamente s.l.m.) e un’altra quota (sempre s.l.m.) alla base dell’edificio, col chiaro obiettivo di associare in futuro all’entità edificio un’altezza e un volume; sempre agli edifici è associato il numero civico, e così via.

Si riportano in tabella alcuni elementi caratterizzanti la cartografia disegnata, quella numerica e il mondo GIS. La cartografia numerica “GIS oriented” di cui abbiamo appena parlato occuperebbe un’ulteriore colonna con parametri intermedi tra quelli della cartografia numerica e quelli GIS.

La forte diversità concettuale esistente tra un approccio di cartografia numerica e un approccio GIS non è necessariamente legata allo strumento utilizzato. Sono comuni i casi di strumenti GIS evoluti che trattano dati appartenenti al mondo della cartografia numerica. In questo caso sarebbe quantomeno più economico utilizzare altri strumenti.

	Cartografia Disegnata	Cartografia Numerica	GIS
numero di strati Informativi	limitato dipende dalla scala (5-10)	illimitato	illimitato
numero di attributi	minimo (1-3)	illimitato sono associati a elementi grafici)	illimitato
topologia	NO	può esistere a livello grafico ma non è gestita	SI
semantica	segni	parti di entità e in parte entità	entità
elaborazioni geometriche	NO	SI	SI
elaborazioni "semantiche"	NO	NO	SI
restituzione flessibile	NO	SI a livello grafico	SI a livello di entità

Gli elementi per cui la tecnologia GIS supera la cartografia disegnata sono molti. Escludendo quelli legati al trattamento numerico dei dati, i più evidenti sono

- la capacità di gestire un numero teoricamente infinito di strati informativi
 - la capacità di gestire entità con un numero teoricamente infinito di attributi
- in pratica la possibilità di gestire una quantità di informazione enormemente maggiore.

In termini concettuali inoltre la tecnologia GIS permette un'astrazione degli oggetti che prescinde dalla loro tecnica di rappresentazione.

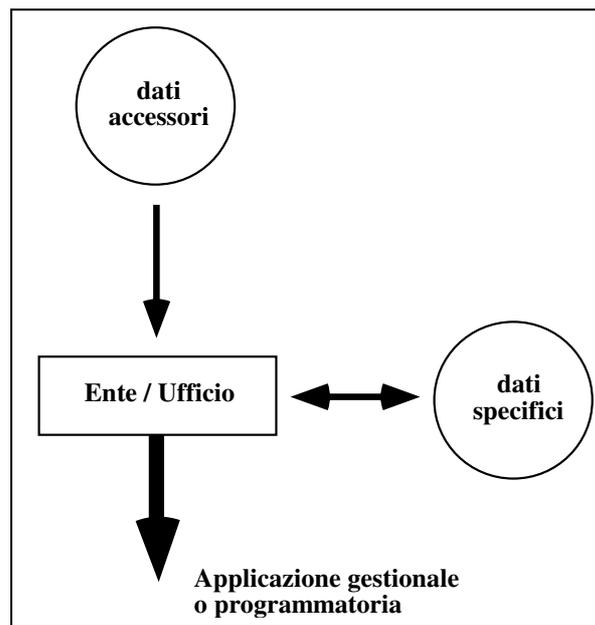
2.99 - Cartografia e tecnologia GIS – Autovalutazione

1. Quali sono i più comuni strati informativi che stanno su una carta disegnata?
2. Quali sono, su una carta disegnata, gli strati informativi che descrivono oggetti che non si vedono sul territorio?
3. Quali sono, su una carta disegnata, gli oggetti rappresentati da linee?
4. La cartografia disegnata privilegia l'informazione spaziale o quella descrittiva? Perché?
5. Che tipo di oggetti sono le curve di livello?
6. Trasporre le informazioni di una carta in uno strumento GIS è un processo semplice? Perché?
7. Tutta l'informazione che sta su una carta disegnata può essere traspunta in uno strumento GIS? Se no, quale non viene riportata? Perché?
8. A cosa serve la tecnica di disegno (spessore, colore, ecc.) su una carta disegnata?
9. Come viene trattata la tecnica di disegno in un archivio GIS?
10. Le relazioni spaziali tra oggetti, ben visibili su una carta disegnata, come sono riportate in un archivio GIS?
11. Cos'è una tavola di look-up
12. Quali sono i due vantaggi fondamentali della tecnologia GIS rispetto alla cartografia disegnata?
13. Che differenza c'è tra la strutturazione in livelli di una cartografia numerica e la strutturazione in livelli di un archivio GIS?

3.1 – La condivisione dei dati

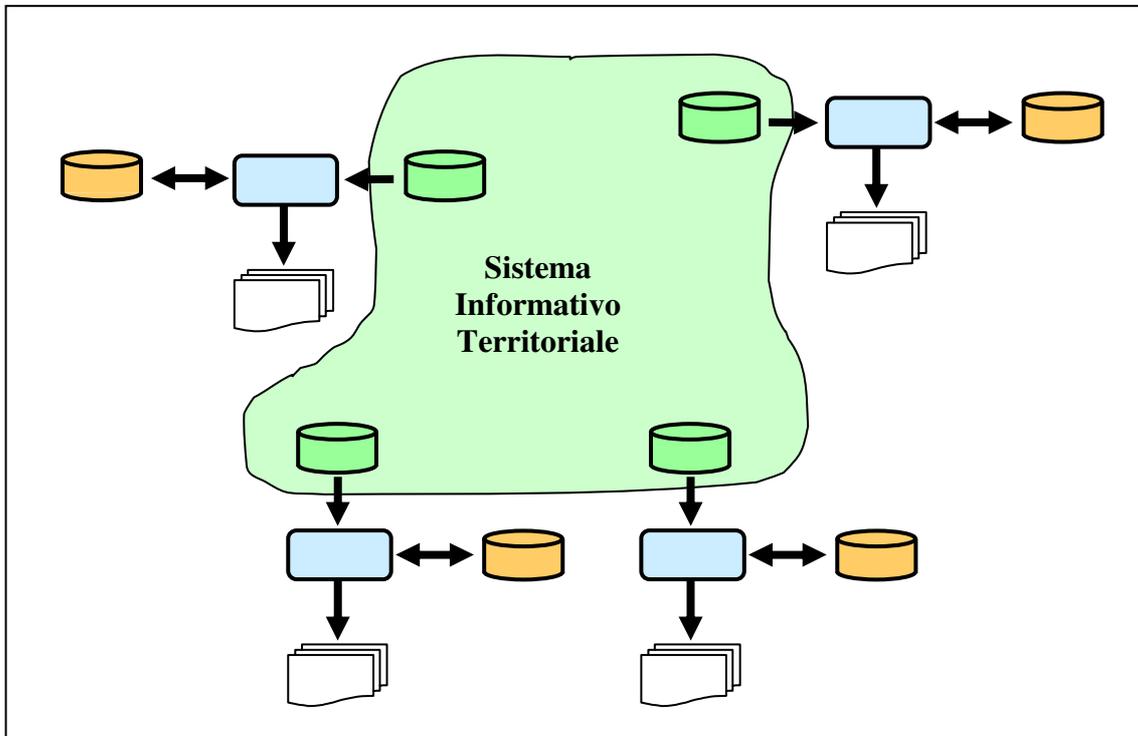
La tecnologia GIS non ha soltanto una valenza tecnica; essa ha un ruolo propositivo a livello organizzativo e metodologico. Per comprendere il valore dell'aspetto organizzativo di un Sistema Informativo Territoriale (cioè un sistema informativo basato su tecnologia GIS), occorre immaginare l'utilizzo di dati territoriali all'interno di un Ente della Pubblica Amministrazione. La scelta di un Ente della Pubblica Amministrazione non è limitativa in quanto la gestione del territorio e dell'ambiente sono oggi competenze quasi esclusivamente pubbliche, e le applicazioni GIS all'interno di Enti Pubblici o a favore di essi coprono la gran parte del mercato. Possiamo immaginarci quindi il caso di un Ente formato da vari Uffici, ciascuno dei quali ha un certo numero di competenze specifiche riguardanti il territorio (p.es. urbanistica, trasporti, inquinamento); Regioni, Province e Comuni sono esempi tipici.

Ciascun Ufficio all'interno dell'Ente assolve ai propri compiti sfruttando una serie di dati; di tali dati esso è in genere sia produttore che consumatore. Tuttavia, nella propria attività lo stesso Ufficio si trova ad utilizzare dati accessori, di cui è consumatore, ma non produttore. Un esempio tipico di questo secondo tipo di dati è la base cartografica, usata, ma non prodotta, in quasi tutti gli Uffici di un Ente che si occupa di territorio. Un Ufficio che si occupa di trasporti, ad esempio, cerca di ottimizzare il movimento dei mezzi pubblici sfruttando dati suoi specifici (gli orari), ma utilizzando anche dati provenienti dall'esterno, quali una base cartografica per quanto riguarda le vie di comunicazione e una mappa di popolazione, magari suddivisa per fasce di età, per la richiesta di servizi. Analogamente il processo di catalogazione del bene culturale avviene sfruttando dati del settore, ma una qualunque attività di valorizzazione del bene stesso o di studio a fini di restauro richiede l'integrazione del dato originale con dati diversi, provenienti da fonti esterne al settore, come ad esempio la rete stradale, la vicinanza di strutture alberghiere o di fonti di inquinamento.



Il problema del dato accessorio è particolarmente evidente se si considera che spesso lo stesso Ufficio opera secondo due direzioni: una, che chiameremo gestionale, riguarda l'ordinaria amministrazione; l'altra, di programmazione, riguarda l'analisi di situazioni e la pianificazione di servizi futuri. L'attività gestionale viene condotta in genere sfruttando prevalentemente i dati generati dall'Ufficio; quella di programmazione, di maggior respiro e con un più alto livello di interdisciplinarietà, richiede invece anche i dati che abbiamo chiamato accessori.

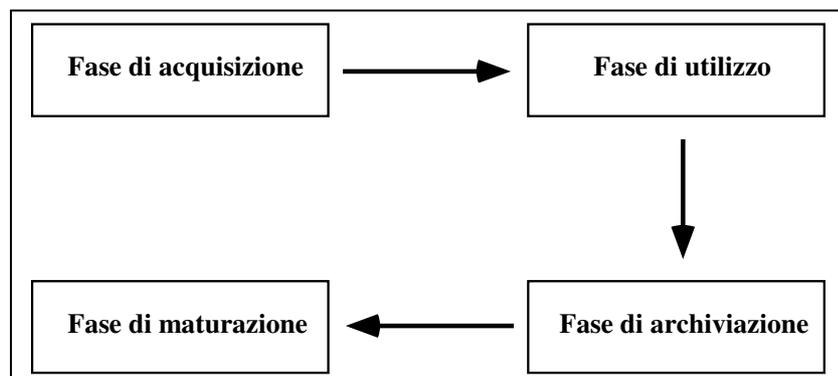
Questa ipotesi organizzativa ci porta a immaginare in questa fase la presenza di un applicativo, che usa dati geografici, specifico per ogni Ufficio dell'Ente, basato su una condivisione di una serie di dati tra Sistemi analoghi di altri Uffici. Questa situazione, rappresentata in figura, si configura, più che come Sistema Informativo Territoriale, come Servizio di fornitura di dati.



3.2 - Il ciclo di vita dei dati

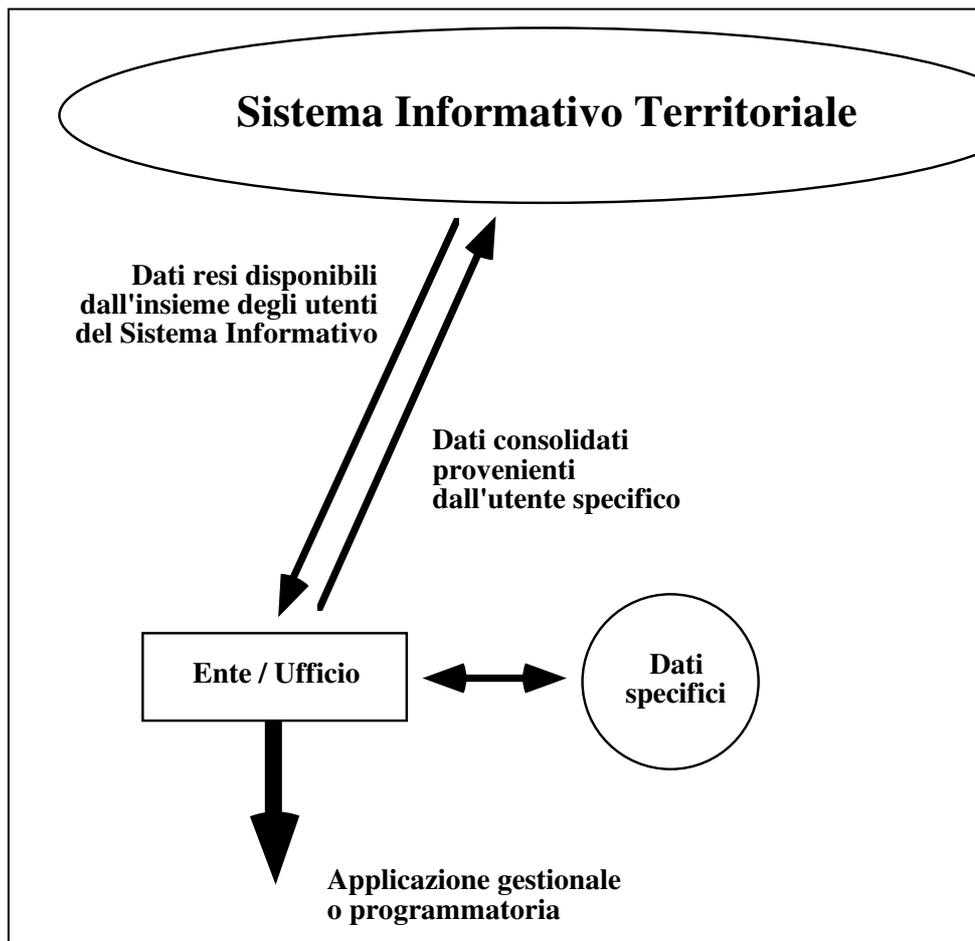
Esaminiamo per un momento quello che può essere chiamato il ciclo di vita dei dati, riferendoci in particolare al dato che fino a qui abbiamo chiamato gestionale.

Il dato nasce con un processo di raccolta e validazione; successivamente viene usato per l'attività cosiddetta gestionale ed infine viene archiviato. D'ora in avanti, con tempi più o meno lunghi, il dato subisce un processo di maturazione ed acquisisce valenze abbastanza diverse da quelle per cui è stato raccolto: la prima è quella di documentazione storica, la seconda è di aggiornamento di archivi esistenti, la terza è di descrittore di sintesi. Durante questo processo di maturazione, il dato è soggetto ad un processo di selezione, elaborazione e sintesi statistica. Ad esempio una licenza edilizia ha un suo primo ciclo di vita in



cui è usata prevalentemente a fini gestionali ed un secondo periodo in cui è utilizzabile per l'aggiornamento di una base cartografica; analogamente i dati anagrafici sono usati analiticamente in una logica gestionale, ma, opportunamente sintetizzati, danno descrizioni del territorio utili per studi di tipo sociale ed economico.

L'analisi del ciclo di vita dei dati ci permette di porre l'attenzione su un punto decisivo, cioè che il dato che ha subito il processo di maturazione, in un certo senso il sottoprodotto dell'attività ordinaria di un Ufficio, costituisce proprio quell'insieme di dati accessori di cui hanno bisogno gli altri Uffici dello stesso Ente o altri Enti. In altre parole una corretta "gestione" costituisce la base di dati per una corretta "programmazione".

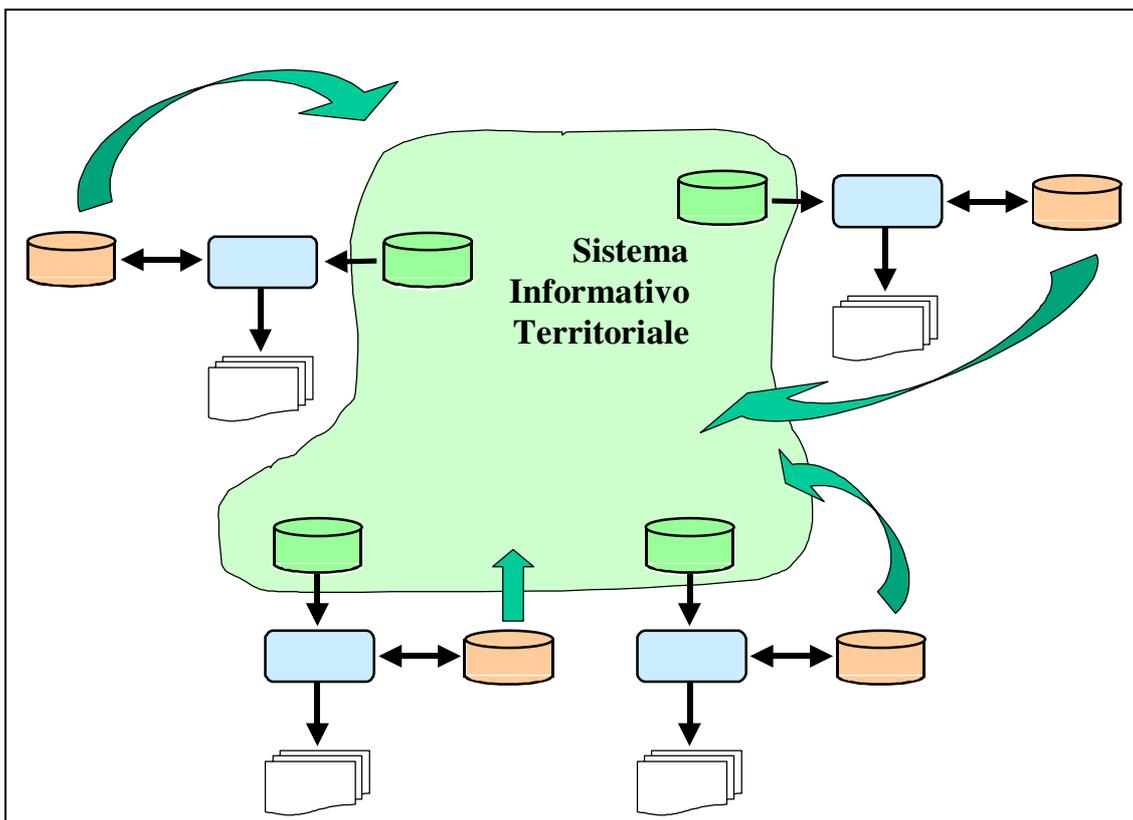


Il processo è schematizzato in figura. L'attività gestionale è indicata dalla freccia orizzontale a doppia punta, e le due frecce verticali indicano il contributo, in termini di dati, che l'Ente o l'Ufficio dà al Sistema e dal Sistema riceve.

3.3 - SIT come Organizzazione

Il modello organizzativo descritto, astrazione e semplificazione di un modello reale molto più articolato, equivale, dal punto di vista dei dati, ad una conoscenza del territorio organizzata per tematismi, ciascuno proveniente da un Ente diverso.

Nasce così la logica di SIT come "organizzazione" che collega tutti gli enti che operano sul territorio, e questo collegamento è realizzato a livello di interscambio di dati. In questo senso non esiste il SIT di una Sovrintendenza, o quello dell'Ufficio Urbanistica di un Comune o di una Municipalizzata, bensì un solo SIT che nasce dall'integrazione di svariati SIT settoriali.



Si poteva arrivare allo stesso risultato in modo più immediato riflettendo sul concetto che il Territorio è "uno", e il fatto che su di esso operino soggetti disciplinarmente diversi non ne intacca, anzi ne evidenzia l'unità. Questa idea di unità si deve riflettere in un'unità di conoscenza e, in ultima analisi, in un'unità di strumento per la conoscenza, appunto il SIT.

Questo modello ideale sembra lontano dalla realtà quotidiana e comunque di complessa attuazione, ma ci deve far riflettere il fatto che a livello legislativo sono state proposte strategie d'avanguardia per il coordinamento di strumenti di gestione del territorio. Vedi ad esempio la legge 183 del 1989, detta della "difesa dei suoli", l'Executive Order della Casa Bianca dell'11 aprile 1994, e una serie di leggi regionali tra cui la LR. 5 del 16 gennaio 1995 della Regione Toscana.

3.99 - Elementi Organizzativi e Culturali - Autovalutazione

1. Che differenza c'è tra dati specifici e dati accessori nell'organizzazione di un Ufficio?
2. Tra dati specifici e dati accessori, quali sono quelli condivisi con altri uffici?
3. Ha senso parlare di molti "sistemi informativi territoriali" in un Ente?
4. Le possibilità tecniche stimolano una nuova organizzazione? Perché?
5. Cosa sarebbe un Sistema Informativo Territoriale senza le reti

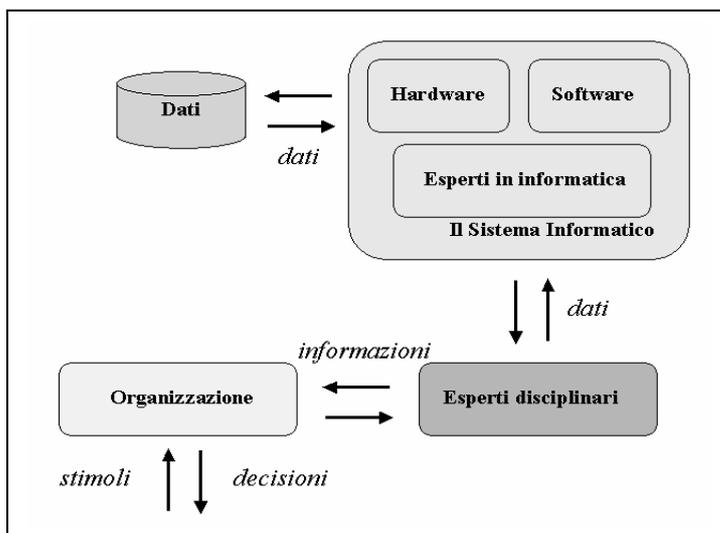
4.1 - Le componenti fondamentali di un sistema GIS

Un Sistema Informativo Territoriale, o più brevemente un sistema GIS, è formato sostanzialmente da quattro parti: i dati, le persone, gli strumenti e il contesto organizzativo.

Per quanto riguarda gli strumenti, si tratta di un elaboratore, o di una rete di elaboratori, dotati di software disegnato specificatamente per il trattamento di dati territoriali.

L'importanza del dato, all'interno di un GIS, è vitale: la capacità elaborativa della macchina è inutile se non sono disponibili dati su cui operare. Per i non addetti ai lavori può essere sorprendente osservare che il costo dei dati, in una fase di avvio di un GIS, è assai superiore al costo degli strumenti informatici. E se questo è vero in un momento iniziale, occorre poi mettere in conto il successivo impegno, peraltro più critico ma assai meno gratificante, di mantenere costantemente aggiornata la base informativa, pena la morte per invecchiamento del sistema. Come abbiamo visto in precedenza questo problema va affrontato in una logica globale, che deve trovare coinvolti i vari soggetti che operano sul territorio.

Intendiamo con "persone" non la componente informatica, cioè gli specialisti in grado di far funzionare gli elaboratori, ma gli utenti (urbanisti, geologi, esperti di gestione del territorio in genere), i quali estraggono "dati" dagli strumenti informatici e, aggiungendo la loro competenza professionale, li trasformano in "informazioni". La mancanza di persone nel senso suddetto è considerata il motivo principale del fallimento di alcune importanti esperienze nel settore.



Infine il contesto organizzativo è la struttura all'interno della quale operano le persone. Nell'ambito della struttura tutto il sistema GIS trova la sua ragion d'essere in quanto è lì che le informazioni estratte dal sistema vengono tradotte in decisioni.

Se si analizza la criticità di ciascuna componente, si scopre che l'unica componente di cui si può fare a meno, almeno in linea di principio, è la parte informatica. Se esistono dati, persone esperte e un buon contesto organizzativo, il Sistema Informativo funziona, così come funzionava prima dell'avvento dell'informatica.

L'assenza, invece, di dati, di esperti disciplinari o di un contesto organizzativo causa, in diverso modo, la morte del Sistema.

La minore criticità della parte informatica rispetto alle altre si riflette anche sul piano dei costi. La parte informatica di un Sistema Informativo Territoriale costa meno dei dati che servono ad attivarlo, mentre la disponibilità di persone esperte e ancora di più la presenza di un valido contesto organizzativo sono entità economicamente non valutabili.

4.2 - Definizioni

Da un punto di vista terminologico non possiamo dire che SIT (Sistema Informativo Territoriale) sia la traduzione esatta di GIS (Geographical Information System). Le definizioni di GIS che circolano nel mondo anglosassone sono varie: c'è chi si ferma ad una visione tecnologica e chi affronta i problemi organizzativi.

Riportiamo in tabella alcune definizioni tratte dalla bibliografia.

A system for capturing, checking, manipulating, analysing and displaying data which are spatially referenced to the Earth Doe 1987
Any manual or computer based set of procedures Used to store and manipulate geographically referenced data Aronoff 1989
Any istitutional entity, reflecting an organizational structure that integrates technology with a database, expertise and continuing financial support over time Carter 1989
A decision support system involving the integration of spatially referenced data in a problem solving environment Cowen 1990
A set of hardware, software, geographical data and skilled people whose goal is to efficiently manage the capture, management, manipulation, analysis and visualization of georeferenced data Raper 1990

In italiano proponiamo le seguenti definizioni:

- Software GIS: un insieme di programmi eseguibili da un elaboratore capaci di trattare dati georeferenziati
- Tecnologia GIS: un insieme di hardware, software GIS e procedure che ha come scopo il trattamento di dati caratterizzati da una componente informatica
- Applicazione GIS: una tecnologia GIS associata ad un insieme di dati, che ha come scopo la soluzione di uno specifico problema disciplinare
- Cultura GIS: la conoscenza delle tecniche di trattamento di dati georeferenziati posseduta da un operatore, insieme ad un atteggiamento culturale orientato verso l'interdisciplinarietà, il confronto e l'integrazione di informazioni diverse, la pubblicizzazione dell'informazione posseduta.
- Sistema Informativo Territoriale: un insieme di dati, competenze professionali, procedure e strumentazione informatica, inquadrato in un contesto organizzativo, il cui scopo è la gestione e la promozione della conoscenza dei fenomeni che descrivono il territorio.

Se si segue questo suggerimento, la sigla GIS in quanto tale non viene utilizzata in italiano; la frase "fare un GIS" è ambigua; pronunciata da una ditta che sviluppa SW significa "sviluppare un software GIS", pronunciata da un uomo politico significa "attivare un Sistema Informativo Territoriale" e infine pronunciata da un esperto disciplinare o da una ditta di servizi assomiglia più a "costruire un'applicazione GIS".

4.3 - Utilizzo della tecnologia GIS

Le possibilità offerte dalla tecnologia GIS vengono sfruttate in modo diverso a seconda delle applicazioni e del tipo di dati disponibili. Partendo dalla sigla $n(G-A)$ questo si traduce in una maggiore o minore valorizzazione delle varie parti di ciò che in sintesi la sigla indica.

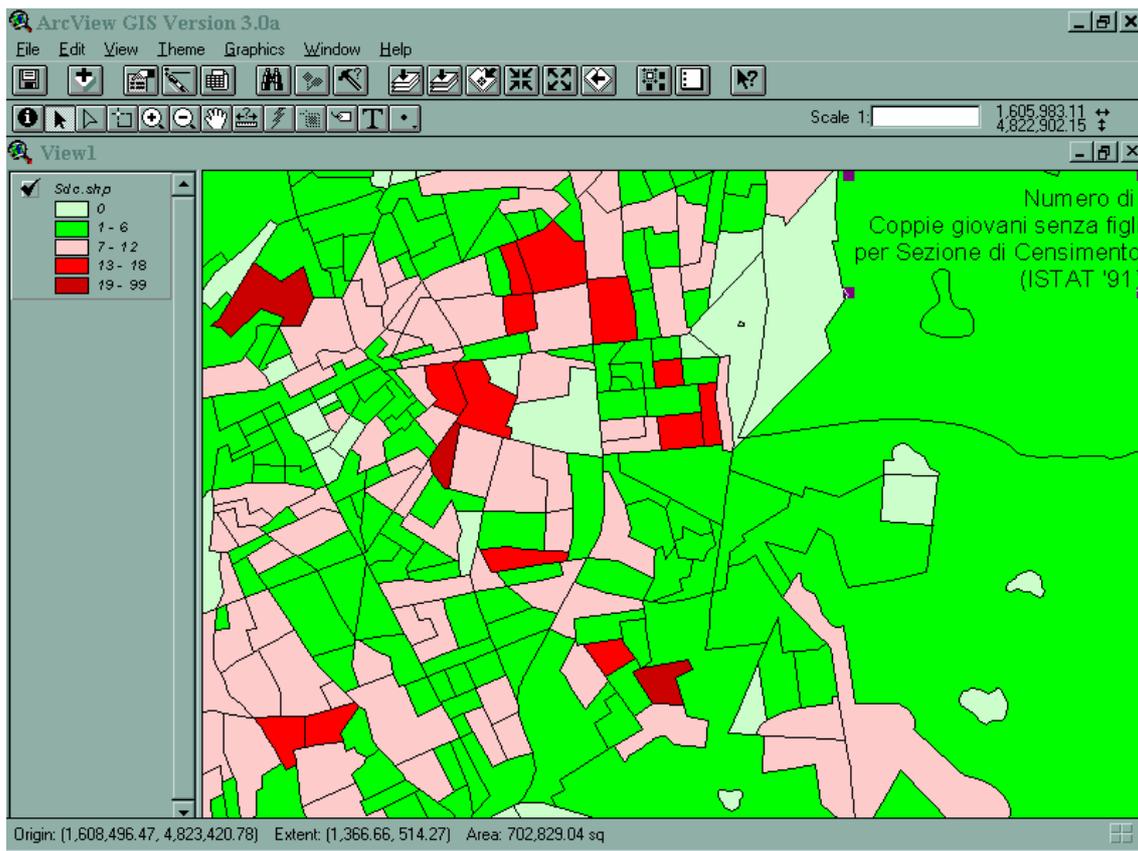
Il primo modo di utilizzare la tecnologia GIS è quello della banale restituzione grafica di quanto presente negli archivi. Siamo nel mondo della cartografia numerica, in quanto si utilizza la parte geometrica dell'informazione, combinando più livelli; di quanto sintetizzato in $n(G-A)$ si sfrutta prevalentemente “ n ” e “ G ”. Oltre a tutte le operazioni geometriche legate alla rappresentazione, è possibile attivare livelli informativi predefiniti e gestire le tecniche di restituzione. I documenti che ci troviamo di fronte sono in questo caso simili a quelli della cartografia tradizionale, salvo un più bizzarro utilizzo delle tecniche di disegno.



Il secondo caso riguarda i cartogrammi. Si tratta della identificazione di un tema (descritto da un attributo) che viene rappresentato tramite la base cartografica. Gli elementi grafici sono una “buccia” che ospita un tematismo. Esempi tipici sono una mappa di distribuzione di popolazione su base comunale o una mappa che presenta, sempre su base comunale, i risultati di una consultazione elettorale. Questo tipo di uso incontra molta fortuna per:

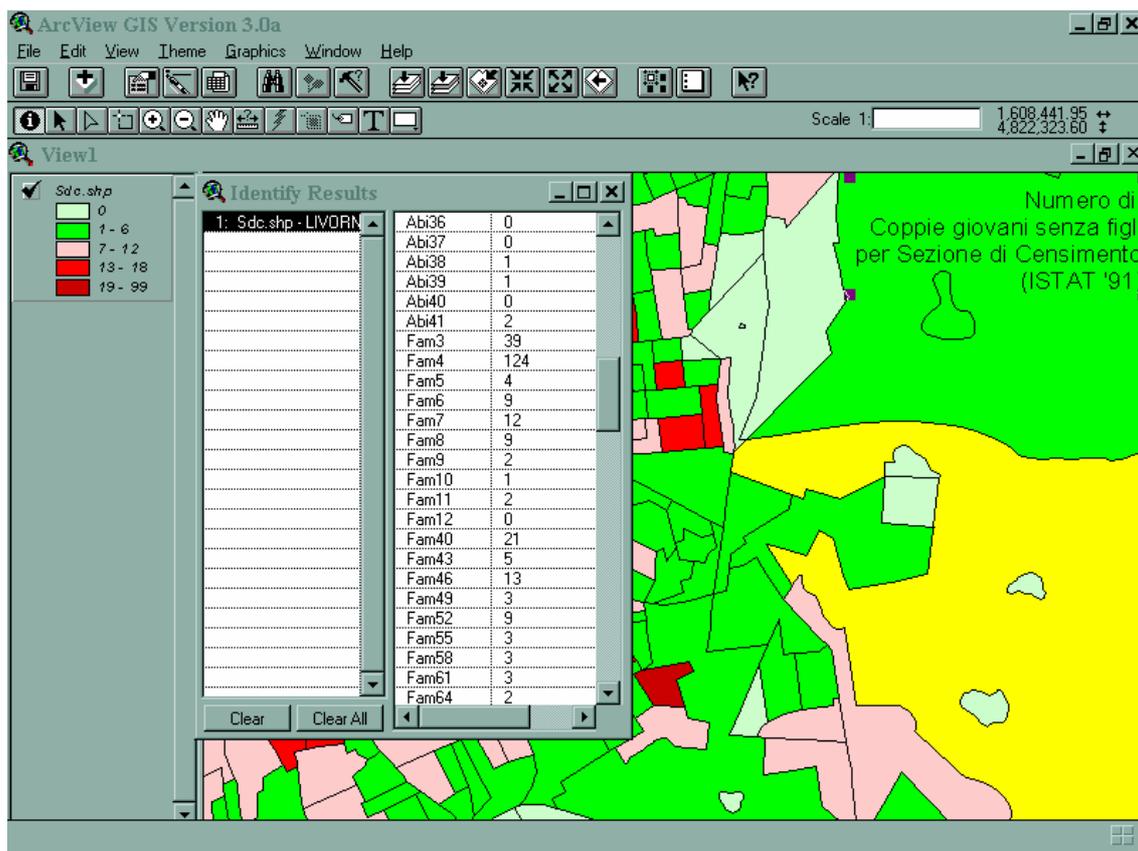
- le nuove capacità interpretative proposte dalla rappresentazione geografica rispetto alla rappresentazione tabellare;
- la facilità intrinseca del processo, anche per chi non è esperto di informatica;
- l'estrema rapidità con cui viene ottenuto un risultato.

Tutti i dati di tipo statistico si prestano egregiamente a questo trattamento, tanto che la tecnica del cartogramma è utilizzata anche da pacchetti software statistici o di “office automation”.



Si parla in questo caso di cartografia tematica (o forse meglio cartografia monotematica). L'elemento caratteristico è l'utilizzo dell'informazione presente nell'attributo, pertanto, della sigla $n(G-A)$ si sfrutta "G" e "A". I documenti risultanti di questo modo di operare sono molto diversi da quelli della cartografia tradizionale; rispetto a quest'ultima essi presentano un aspetto più quantitativo, mentre al contrario mancano di un contesto di riferimento.

Un'estensione di questo modo di operare è quello dell'analisi delle caratteristiche di un oggetto rappresentato graficamente. Invece di avere un'analisi globale di un'area divisa per ogni entità geografica si evidenzia il valore di un solo attributo, in questo sottocaso si evidenziano, per una specifica entità, tutti gli attributi. Con un diverso modo di operare si sfrutta sempre "G" e "A" di $n(G-A)$. Da un punto di vista operativo, si identifica (tipicamente con un click del mouse) un'entità e, in un'apposita finestra, appaiono i valori cercati.

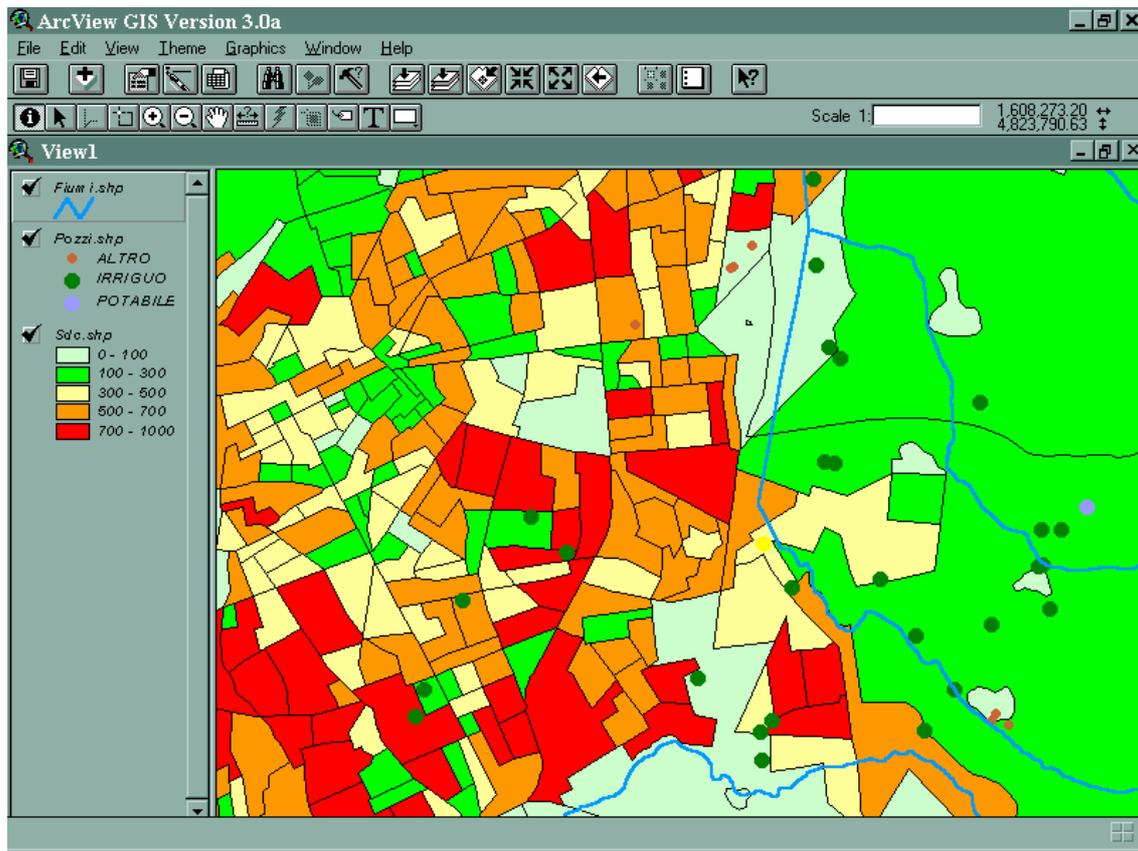


Il terzo modo di utilizzare la tecnologia GIS è quello più classico in cui si integrano informazioni provenienti da diversi livelli informativi. Ciascun livello fornisce un tema, come nel secondo caso, e diversi temi sono posti in correlazione tra di loro. In questo caso, della sigla **n (G-A)** si sfruttano tutte le componenti: “n”, “A” e ovviamente “G”.

La correlazione delle informazioni provenienti dai diversi strati avviene in diversi modi. Distingueremo tre sottocasi.

Il primo è quello dell'integrazione di dati tramite rappresentazione. In questo caso si rappresentano, su video o su carta, dati di tipo eterogeneo e l'operatore ne trae le conseguenti deduzioni. Il processo di integrazione dei dati è effettuato dall'uomo, mentre un elaboratore opera quale disegnatore. Una mappa di densità di popolazione disegnata sopra ad una mappa della viabilità permette di fare verifiche o programmi in termini di politica dei trasporti; una mappa che presenta, su base comunale, i risultati di una consultazione elettorale sovrapposta ad una mappa di reddito induce ad altre considerazioni. Questo tipo di trattamento offre all'operatore una enorme capacità deduttiva (le combinazioni di dati eterogenei sono limitate solo dalla fantasia); tuttavia esistono problemi tecnici relativi alle metodologie di sovrapposizione.

Il secondo sottocaso è quello dell'integrazione di dati tramite elaborazione. Questo è il caso in cui vengono correlati tra loro dati eterogenei con l'ausilio di un software GIS. L'operatore riceve un prodotto complesso cui deve aggiungere la propria interpretazione. Un esempio è quello del calcolo del rischio di incendio di boschi, basato sul fatto che tale rischio è tanto più grande quanto più il bosco è vicino ad una strada, ma lontano da un abitato, e ancora dipendente dal tipo di bosco, dal tipo di terreno, dalla pendenza, ecc. Si tratta evidentemente di gestire un insieme di dati diversi secondo un certo modello. Questo tipo di trattamento è quello che dà il maggior valore aggiunto ai dati, ma presenta ovvie difficoltà legate alla qualità dei dati, alle caratteristiche del modello, ad una difficile interpretazione dei risultati e infine ai limiti intrinseci del software GIS.



Il terzo sottocaso, infine, nasce dalla limitatezza intrinseca dei software GIS. I software oggi disponibili offrono funzionalità potenti, ma di tipo generale. In molti casi, invece, si ha a che fare con problemi particolari che richiedono l'uso di modelli specifici. Sono esempi la dispersione di gas nell'atmosfera, la diffusione di inquinanti nella falda, e altri. In questo caso occorre integrare il software GIS con i modelli disciplinari adatti allo scopo.

5.1 - Primitive geometriche vettoriali

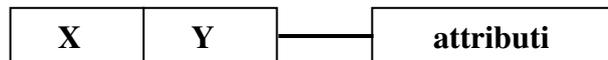
La tecnologia GIS ci mette a disposizione una serie di primitive per modellare la geometria degli oggetti del mondo reale. Nel campo vettoriale esse sono Punto, Linea, Area. La primitiva Volume, facilmente intuibile come significato, non viene usata.

Tali primitive sono lo strumento che abbiamo a disposizione per modellare gli oggetti del mondo reale; cioè darne una rappresentazione matematica che, in quanto tale, sarà necessariamente incompleta e approssimata, ma che ci permetterà di utilizzare operatori matematici per studiare le proprietà degli oggetti e le loro interrelazioni. In pratica studieremo caratteristiche del mondo reale applicando operatori matematici ai modelli degli oggetti del mondo reale e, se i modelli sono appropriati, i risultati ottenuti matematicamente saranno molto vicini alla realtà.

Non è detto che sia sempre possibile descrivere geometricamente in modo semplice un'entità territoriale con una sola primitiva; per esempio il limite amministrativo di un Comune può essere descritto da più di un'area, se esistono isole amministrative. I software GIS gestiscono queste situazioni definendo primitive complesse formate da più primitive semplici. Di seguito ci limitiamo a discutere il caso in cui una primitiva semplice (un solo Punto, una sola Linea, una sola Area) descrive in modo compiuto l'entità territoriale.

5.2 - Il Punto

La primitiva Punto è costituita da una coppia di coordinate.



La primitiva Punto modella oggetti del mondo reale che possiamo rappresentare come punti; ma quali oggetti sono modellabili come “punti”?

Alcune entità del mondo reale sono da un punto di vista semantico veri e propri punti; un punto trigonometrico “è” un punto e analogamente la cima di un monte “è” un punto.

Altre entità hanno una struttura areale, ma possono essere rappresentate come punti: questo può avvenire o per motivi di scala (stiamo operando ad una scala alla quale l'oggetto in questione ha una dimensione

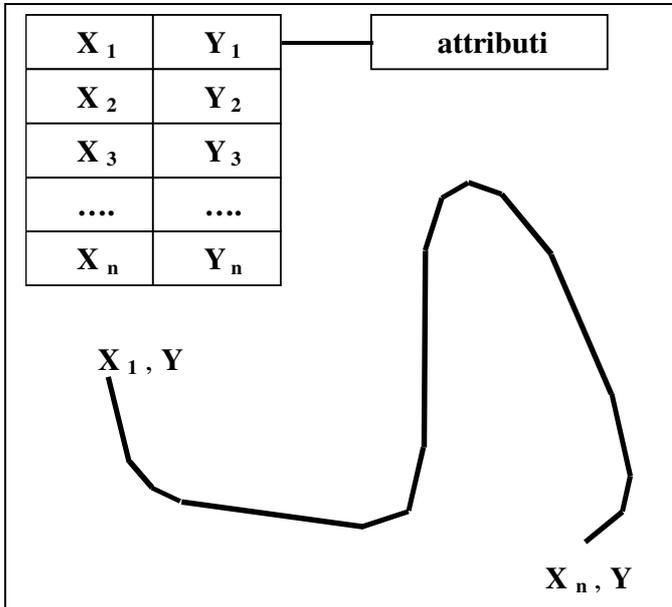
inferiore ai 0.5 mm circa) o per motivi che dipendono dall'uso che si intende fare dei dati. Per esempio consideriamo il caso di una piccola città che può avere una zona urbanizzata del diametro di oltre 1 km e quindi ben cartografabile ad una scala di 1:500.000. Se l'obiettivo è creare un'applicazione GIS che tratti flussi turistici, la città sarà ben rappresentata da un punto, anche se alla fine verranno prodotte carte alla scala 1:500.000.



Quando si usa la primitiva punto pertanto occorre tener presente un problema di modellazione consistente nella questione “quanto bene la primitiva modella l'entità del mondo reale che deve rappresentare”.

5.3 - La linea

La primitiva Linea è costituita un insieme ordinato di punti; il punto iniziale e quello terminale sono chiamati estremi.



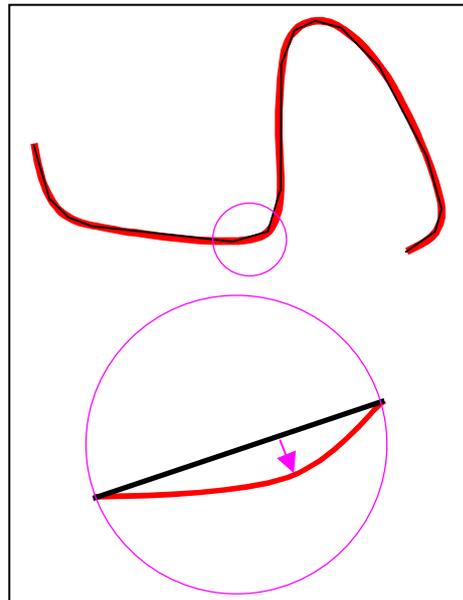
La primitiva Linea modella oggetti del mondo reale che possiamo rappresentare come linee. Come nel caso dei punti la rappresentazione di un oggetto tramite un Linea dipende dalla scala e/o dall'uso che si fa dei dati.

Un limite di costa è una linea, anche se in realtà è un oggetto di difficile definizione, meglio rappresentabile con una fascia; una curva di livello (pur non essendo un oggetto) è una linea; un acquedotto si rappresenta come una linea quando ci interessa in quanto strumento di trasporto di risorse e non come occupazione fisica dello spazio, e analogamente una strada.

Una linea è una spezzata che nella maggior parte dei casi simula una linea curva. Pertanto all'errore intrinseco collegato al valore delle coordinate dei punti si aggiunge un errore di discretizzazione e una conseguente riduzione della lunghezza della linea. Questo nuovo errore si misura come la freccia di quella parte di arco che viene descritta da un segmento. Questo valore è in genere piccolo e spesso si cerca di contenerlo nei limiti dell'errore di graficismo della carta da cui il dato proviene.

Ad una primitiva geometrica sono associati attributi che descrivono caratteristiche dell'entità del mondo reale che la primitiva rappresenta. Gli attributi possono assumere un solo valore che pertanto è da ritenersi valido per tutta la primitiva.

Supponiamo di descrivere una rete stradale, formata da entità elementari che rappresentano "tratti di strada". Ad ogni tratto di strada sono associati attributi che indicano il tipo (Autostrada, Strada statale, ecc.), il nome (se esiste), il numero (se esiste) e la pavimentazione (Asfaltata, Bianca). Un tratto di strada avrà, ad esempio, i seguenti attributi:



Num. tratto	Parte geografica	Attributi			
		tipo	nome	numero	pavimentazione
161	.....	.....	.....	.....	.....
162	Descrizione geografica	Provinciale	"le Palanche"	S.P. n. 15	Bianca
163	.....	.....	.....	.....	.....

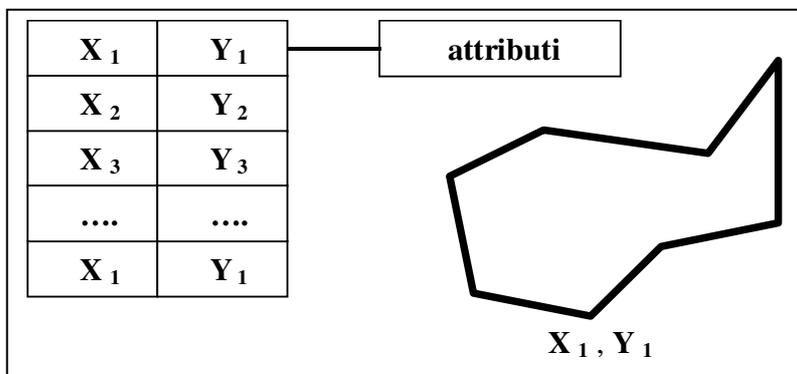
Supponiamo che il tratto 162 venga asfaltato solo in una parte intermedia. Si ha una situazione in cui il valore “Bianca” per l’attributo pavimentazione non è valido in quanto una parte iniziale del tratto è ancora Bianca, una intermedia è Asfaltata e quella finale è ancora Bianca. Poiché il valore di un attributo descrive una caratteristica per tutto il tratto, la situazione dell’archivio non è più valida, e va sostituita con una corretta.

Num. tratto	Parte geografica	Attributi			
		<i>tipo</i>	<i>nome</i>	<i>numero</i>	<i>pavimentazione</i>
161	.....	.....	.....	.....	.....
20162	Descrizione geografica	Provinciale	“le Palanche”	S.P. n. 15	Asfaltata
21162	Descrizione geografica	Provinciale	“le Palanche”	S.P. n. 15	Bianca
22162	Descrizione geografica	Provinciale	“le Palanche”	S.P. n. 15	Asfaltata
163	.....	.....	.....	.....	.....

Quando si usa la primitiva linea occorre tener presente un problema di modellazione (quanto bene la primitiva modella l’entità del mondo reale che deve rappresentare), un problema di discretizzazione (con che accuratezza geometrica la primitiva modella l’entità del mondo reale che deve rappresentare) e il problema dell’omogeneità degli attributi (assicurarsi che gli attributi dell’entità che vogliamo rappresentare non varino all’interno di ciascuna istanza della primitiva).

5.4 - L'Area

La primitiva Area descrive una parte di piano compresa all'interno di una linea chiusa ed è costituita un insieme ordinato di punti; il punto iniziale e quello terminale coincidono.



La primitiva Area modella oggetti del mondo reale che possiamo rappresentare come aree e non presenta problemi di modellazione.

Come la linea, l'area, essendo descritta da una spezzata che in genere approssima una curva, presenta problemi di discretizzazione che causano una riduzione del perimetro

e una variazione (non definibile se in più o in meno) della superficie. Sempre in analogia con la linea, l'area ha gli stessi problemi riguardanti l'omogeneità degli attributi al suo interno. Se un attributo varia all'interno dell'oggetto, è necessario dividere l'oggetto originario in due o più oggetti in modo da avere omogeneità di attributi.

	Modellazione	Discretizzazione	Omogeneità
Punto	SI	NO	NO
Linea	SI	SI	SI
Area	NO	SI	SI

5.5 - Gli attributi

Immaginiamo una suddivisione del territorio per aree, aventi come attributi il numero di abitanti, la densità di popolazione e una tipologia morfologica. Supponiamo di dover dividere l'area 87 in due parti (ad esempio perché l'area 87 afferisce amministrativamente a due Comuni diversi).

Num.Area	Parte geografica	Attributi		
		Num.abitanti	Dens.popolaz.	Morfologia
86	.....	.....	.....	.....
87	Desc. geografica	3510	78	pianeggiante
88	.....	.....	.....	.....

Se il software GIS che usiamo non è particolarmente evoluto, l'area 87 verrà spezzata nelle due aree 871 e 872, per le quali verranno calcolate anche le nuove superfici (rispettivamente A e B), mentre gli attributi dell'area 87 verranno copiati tal quale nei campi corrispondenti delle 871 e 872.

Esaminiamo quanto è successo dal punto di vista del principio dell'omogeneità degli attributi.

Num.Area	Parte geografica	Attributi		
		Num.abitanti	Dens.popolaz.	Morfologia
86	.....	.....	.....	.....
871	Desc. Geogr. A	3510	78	pianeggiante
872	Desc. Geogr. B	3510	78	pianeggiante
88	.....	.....	.....	.....

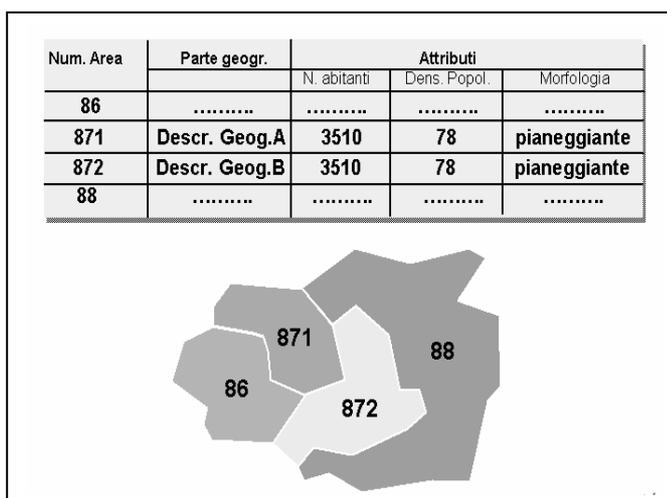
L'attributo "Morfologia" è qualitativo, e nel nuovo archivio assume valori corretti.

L'attributo "Numero di Abitanti" è quantitativo e i valori assunti sono errati. L'assurdo è che la popolazione di 87 è di 3510 abitanti, mentre la popolazione di 871 + 872 (la stessa area 87) è di 7020. Alcuni software propongono soluzioni a questo problema, quali ad esempio il calcolo di valori normalizzati sulle nuove aree. Se ad esempio l'area A fosse il doppio dell'area B, l'attributo Numero di abitanti assumerebbe il valore 2340 per l'area 871 e il valore 1170 per l'area 872. Questa soluzione mantiene una certa coerenza nell'archivio (nel senso che la somma del Numero di abitanti si mantiene costante, ma i valori sono comunque arbitrari e in genere non veri.

L'attributo Densità di popolazione è specifico. I valori, riportati tal quali, non sono formalmente errati, nel senso che calcolando la popolazione totale come somma, su tutti gli elementi, del prodotto Area * Densità, si ha un valore corretto. Tuttavia, come per il caso precedente, il valore è arbitrario e in genere non vero.

Gli attributi che sono collegati ad una primitiva Area o Linea possono essere di vario tipo. Il tipo di attributo si valuta con riferimento a cosa succede se si spezza l'elemento in due parti. Con riferimento ad un'Area si può avere:

- Attributi qualitativi: spezzando l'area l'attributo mantiene la sua coerenza
- Attributi quantitativi: spezzando l'area l'attributo perde la sua coerenza
- Attributi specifici: spezzando l'area l'attributo mantiene una certa coerenza, ma probabilmente perde la sua validità.



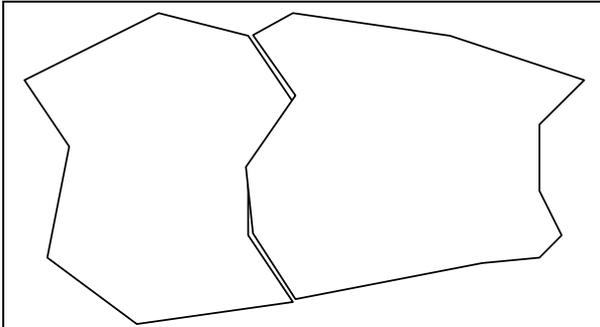
Da un altro punto di vista si può pensare che una frammentazione di elementi in altri elementi più piccoli costituisce in un certo senso un aumento di scala, cioè una conoscenza di maggiore dettaglio. Questa non può derivare dagli stessi dati; qualsiasi modello si applichi in questo processo, i risultati sono comunque arbitrari: solo una nuova rilevazione può produrre informazione di maggiore dettaglio. Di questa situazione non risentono, per la loro natura, gli attributi qualitativi; ne risentono invece tutti gli altri, anche se in modo diverso. In ogni caso, se la frammentazione è tale da produrre elementi molto piccoli rispetto agli elementi originali, anche gli attributi qualitativi possono assumere valori arbitrari.

5.99 - Primitive geometriche vettoriali - Autovalutazione

1. Come è fatta la primitiva geometrica punto in un sistema GIS?
2. Qual è la differenza tra la primitiva geometrica punto e la primitiva geometrica linea in un sistema GIS?
3. Quali dati territoriali sono ben rappresentabili con la primitiva punto? E con la primitiva linea?
4. Qual è il ruolo della scala nella scelta della primitiva per rappresentare un oggetto territoriale?
5. Come caratterizza un attributo associato ad una primitiva spaziale?
6. Cosa sono gli attributi quantitativi?
7. Cosa succede agli attributi quando si divide un'entità territoriale in due?

6.1 - La geometria imperfetta

Immaginiamo la rappresentazione tramite primitive vettoriali di due oggetti territoriali di tipo areale. Supponiamo anche che gli oggetti originari (p.e. i limiti amministrativi di due Comuni adiacenti) siano nella realtà tra di loro perfettamente adiacenti, nel senso che tra di essi non esistono né spazi vuoti né aree di sovrapposizione.



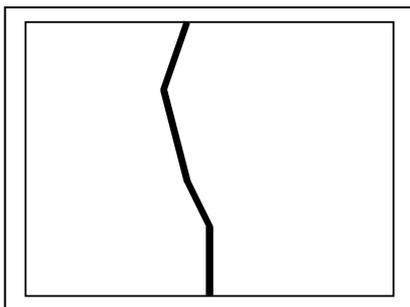
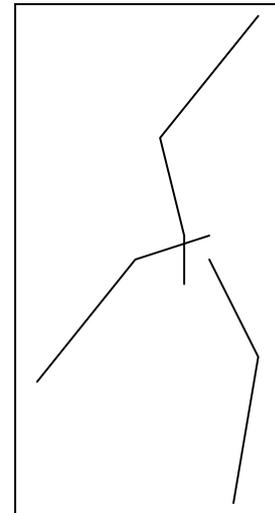
La figura evidenzia, con ovvie esagerazioni, l'incorrenza tra due aree che sono adiacenti nel mondo reale, ma non nella rappresentazione informatica. L'incorrenza tra le due aree è in genere molto piccola e spesso irrilevante in una fase di disegno in quanto inferiore allo spessore del tratto della penna;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

Non è detto necessariamente vero che questa adiacenza sia rispettata nel momento in cui vengono acquisite le due aree che descrivono i nostri oggetti; 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.

Lo stesso problema può valere 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.

L'incorrenza tra le due aree nel primo caso (o tra le tre linee nel secondo) 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 incorrenza 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.

L'incorrenza tra le due aree nel primo

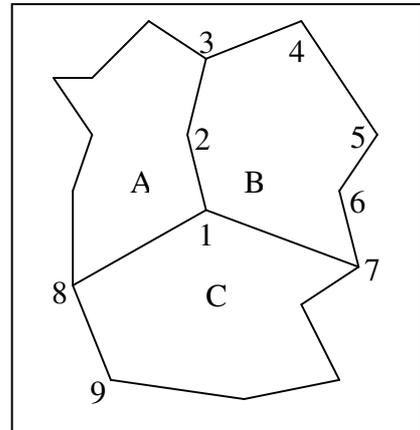
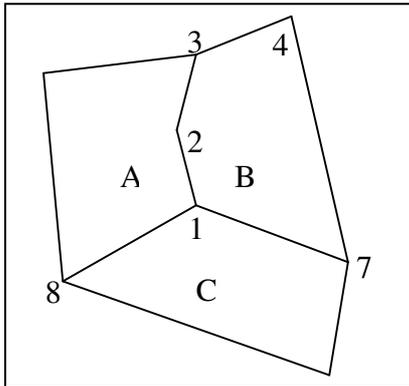


Un altro elemento di incertezza si ha quando si rappresenta il bordo di un'area e di questo se ne vede soltanto una parte: non abbiamo alcuna informazione per sapere se la parte interna dell'area si trovi a destra o a sinistra della linea. Soltanto l'aggiunta di ulteriori elementi grafici è in grado di farci capire dove è la parte interna dell'area.

6.2 - 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.

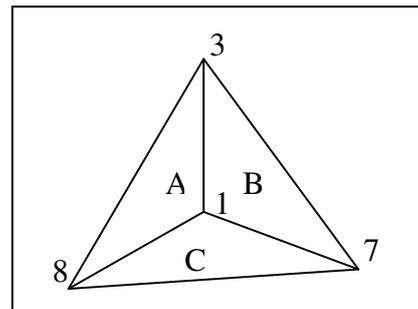
È abbastanza intuitivo cominciare a semplificare togliendo i vertici 2, 5, 6, 9 e altri fino a raggiungere il risultato della seconda figura. Un'ulteriore semplificazione può portare a eliminare il punto 4 ed anche altri, fino ad arrivare ad una struttura molto semplice.



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 alle figure 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 la stessa linea che definisce l'area contigua.

Se immaginiamo che l'arco sia una primitiva dotata, come il punto, la linea e l'area, 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.

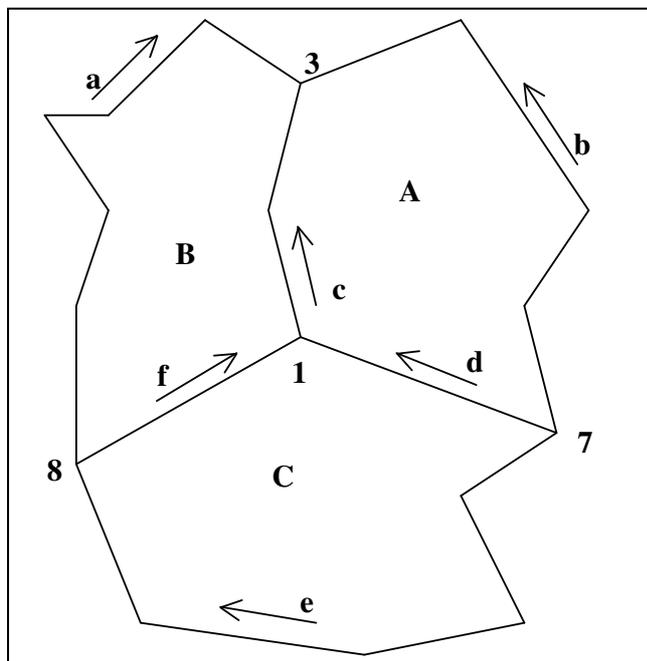
La conoscenza di questi attributi ci permetterebbe inoltre di risolvere l'altra difficoltà notata, consistente nel non sapere a priori, dato un tratto di bordo, se l'area descritta è a destra o a sinistra.

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.

6.3 - 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). 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.

<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



La tabella che definisce le aree 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

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.

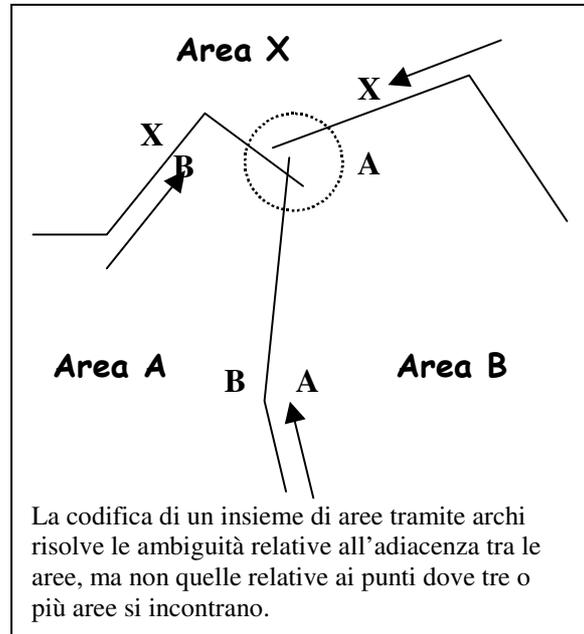
Altre operazioni che coinvolgono l'area nel suo insieme possono essere eseguite, mantenendo una struttura dati del tipo "ad archi", cioè senza ricomporre tra loro più archi per ottenere la codifica esplicita dell'area. Sono esempi il calcolo del perimetro, il calcolo della superficie, la preparazione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

6.4 - La 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.

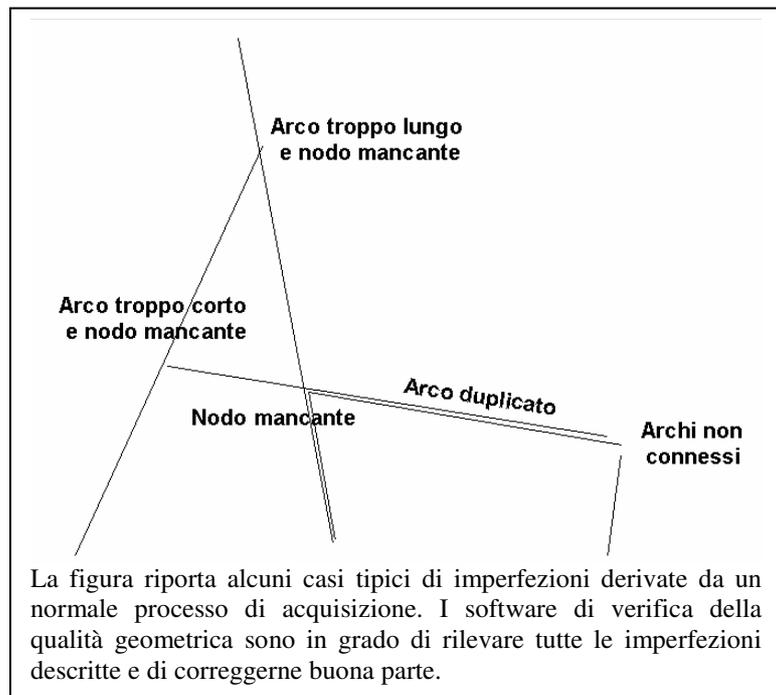
Non abbiamo però ancora risolto il problema relativo alle linee (la convergenza esatta di più linee nello stesso punto) e lo stesso problema vale nel caso delle aree. Infatti, una volta definite le aree come insiemi di archi, dobbiamo imporre l'ulteriore condizione che gli archi siano connessi con esattezza 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.

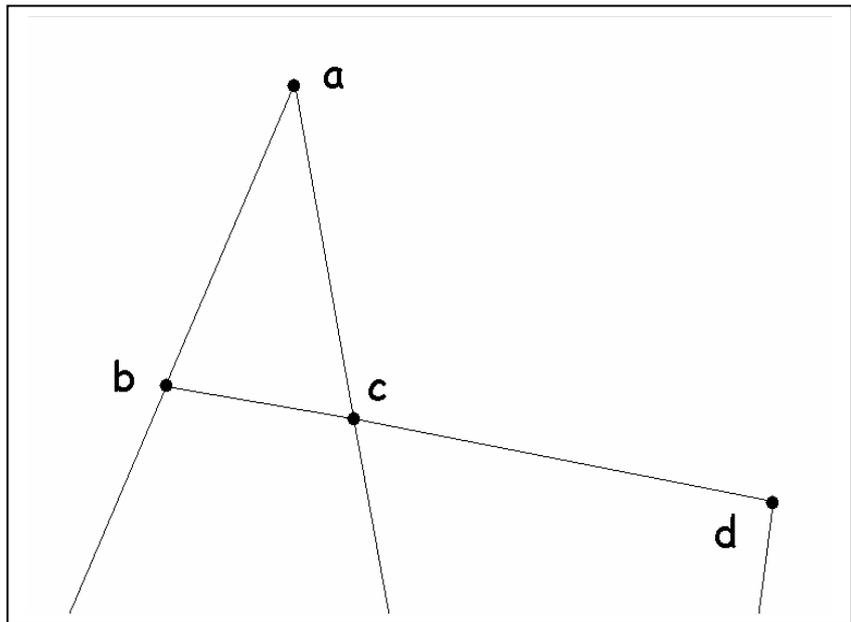


Quando la situazione precedente non è verificata, il software analizza se, in un intorno predefinito e in genere abbastanza piccolo, esistono altri estremi di archi; se così è gli estremi degli archi vengono fatti collassare automaticamente nello stesso punto che assume il ruolo di nodo. Se la correzione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

Questa operazione di pulizia analizza diversi casi, 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.



L'operazione di pulizia che abbiamo descritto opera su archi, prescindendo dal fatto che tali archi descrivano un insieme di aree o di linee. Supponendo di pulire i dati della figura precedente avremmo alla fine una situazione come quella riprodotta a lato. Si noti che nei nodi "b" e "c" convergono tre o più archi, mentre nei nodi "a" e "b" 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 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:

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

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

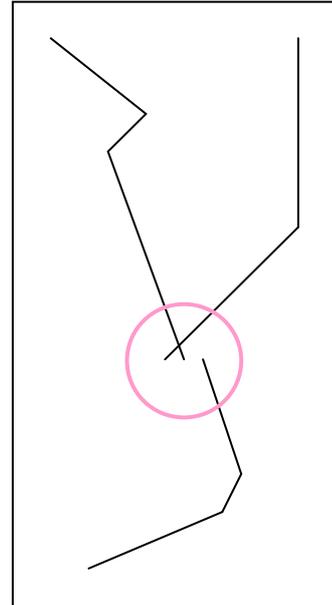
Quando i dati geometrici rispettano queste condizioni la loro geometria è perfetta (da un punto di vista topologico) ed è corretto utilizzarli per costruire strutture topologiche.

6.5 - 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. 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 (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.

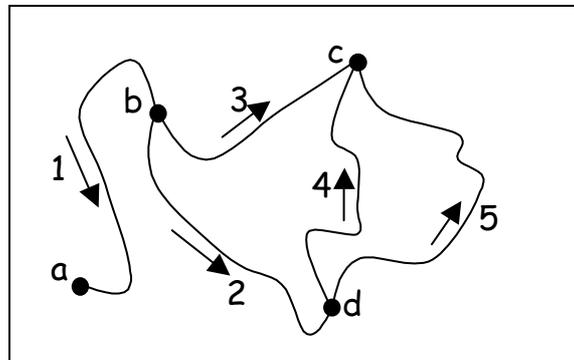
Da un punto di vista puramente geometrico, i programmi di pulizia descritti sono in grado di creare dati geometricamente perfetti; si noti che, a differenza del caso delle aree, un nodo isolato è in una struttura di linee pienamente legittimo (p.e. una strada a fondo chiuso).



Una volta ottenuti dati geometricamente perfetti, è possibile, come nel caso delle 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.

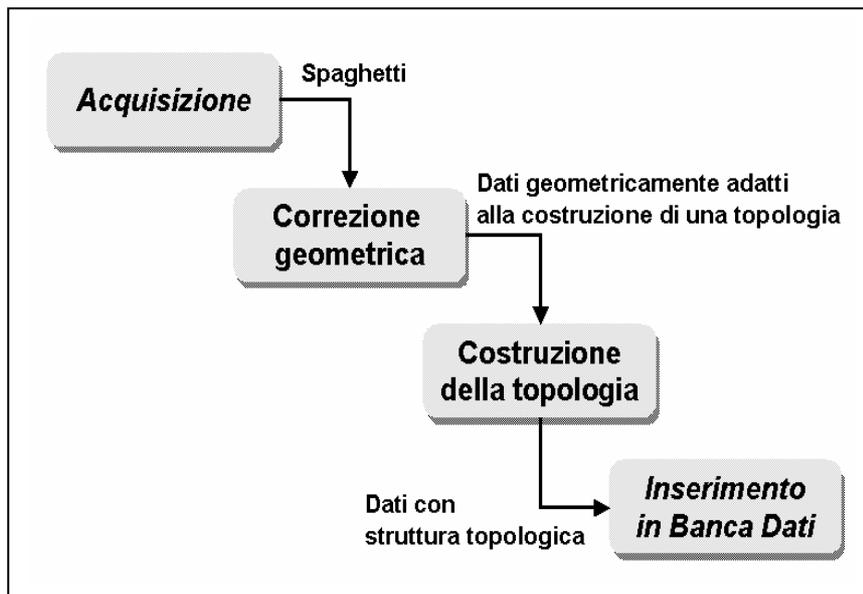
Nodo	Archi uscenti	Archi entranti
A		1
B	1, 2, 3	
C		3, 4, 5
D	4, 5	2



6.6 - I concetti base della topologia

La topologia studia relazioni spaziali tra oggetti geometrici; nella tecnologia GIS la topologia suggerisce l'esplicitazione di una serie di relazioni spaziali tra primitive geometriche; 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.

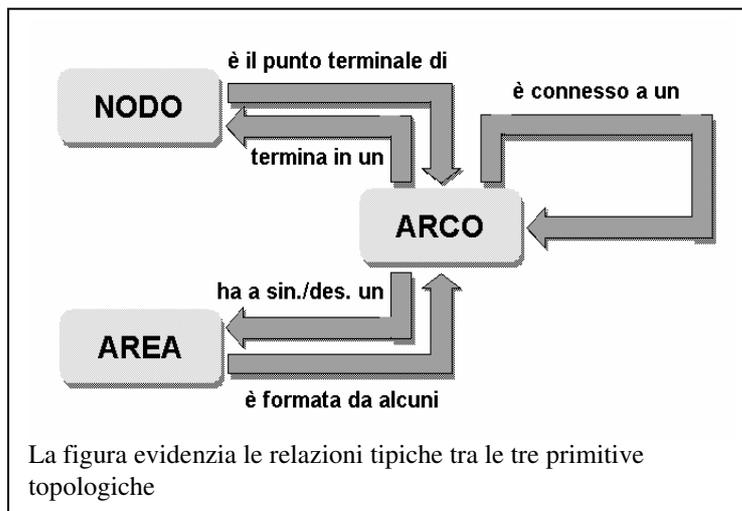
Se il dato è geometricamente perfetto (si usa dire anche "topologicamente consistente") è possibile creare senza errori la sovrastruttura topologica; pertanto la creazione della topologia si basa su una prima fase di verifica e correzione dei dati da un punto di vista geometrico e successivamente nella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



La topologia è quindi una sovrastruttura ridondante, che:

- 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".

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".

6.8 - 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 topologicamente corretti (o 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.

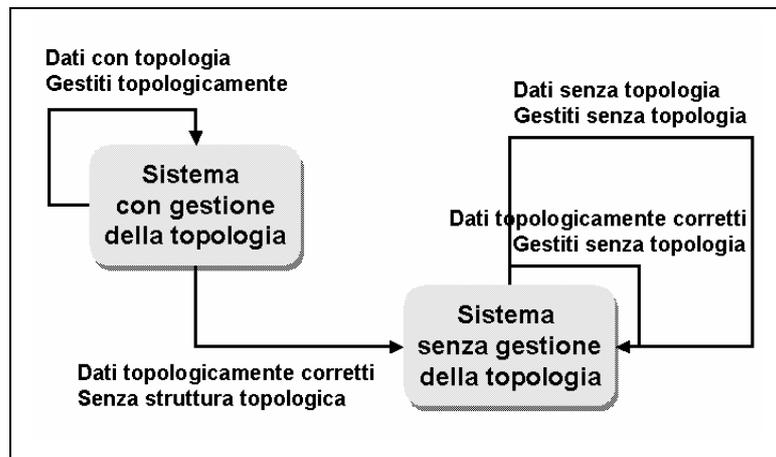
Quando il sistema B, dotato di un certo modo di gestire la topologia, riceve questi dati, ricostruisce gli archi, dividendo a pezzi le varie aree, e l'arco di divisione tra l'area 1 e l'area 2 estratto dall'area 1 è numericamente identico a quello estratto dall'area 2. Non vi è quindi alcuna fase di “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 topologicamente corretti, 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, se è dedicato ad acquisizione di dati, crea archivi dove non è possibile che i dati siano topologicamente corretti.

Tuttavia, nel caso in cui riceva da un altro sistema dati topologicamente corretti, siamo nella fortunata situazione di avere dati geometricamente perfetti all'interno di un software che non gestisce la topologia (dati topologicamente corretti 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 (anche se in realtà alcuni artifici permettono a volte di non deteriorare la qualità dei dati).

Questo caso è estremamente comune. Si pensi ai server che distribuiscono dati, in genere topologicamente corretti, a client dove sono attivi software di livello medio basso (tipicamente dei “desktop GIS”), che non gestiscono la topologia.



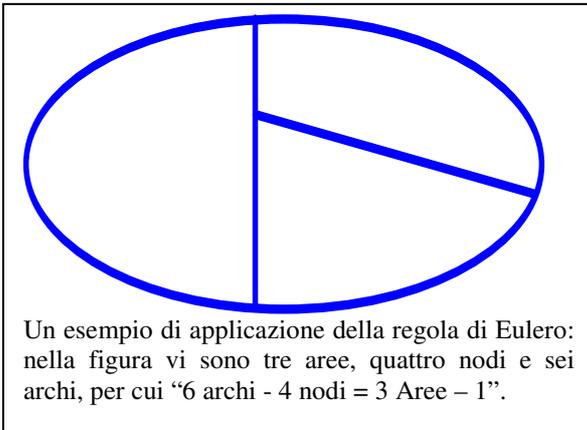
6.9 - La regola di Eulero

La regola di Eulero è una regola molto generale che definisce una relazione tra archi, nodi e aree di un grafo. 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.



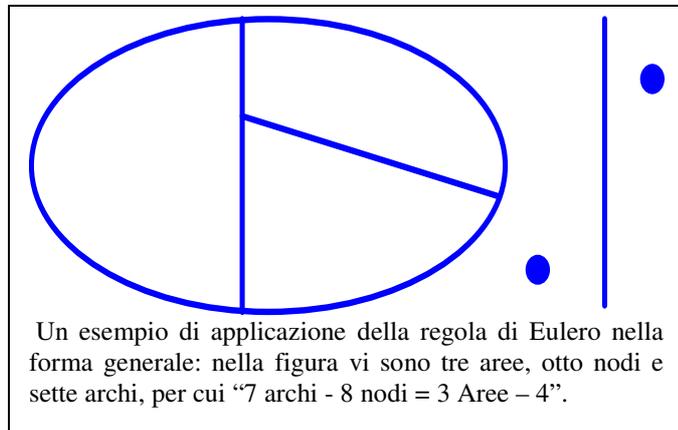
La regola di Eulero, inoltre, tollera i falsi nodi. Infatti, data una qualunque figura dove esistano archi, se inseriamo in un arco un falso nodo avremo un nodo in più e un arco in più, per cui la differenza $a-n$ resterà invariata.

La formula di Eulero 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 figura a fianco è compresa 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.



6.99 - La topologia - Autovalutazione

1. Se il bordo di due aree adiacenti non è esattamente lo stesso, che problemi ci sono a livello di cartografia disegnata, quali per la cartografia numerica, quali per un'applicazione GIS?
2. Qual è il valore del dettaglio geometrico di una linea per quanto riguarda la topologia?
3. Cosa è un arco?, quali sono i suoi contenuti informativi?
4. Dato un insieme di aree contigue, sapete costruire la tabella degli archi? Come verificare che è stata scritta correttamente?
5. Sapete immaginare la “differenza” tra due aree gestita con una struttura topologica?
6. Cosa è un nodo in una struttura di aree? Cosa è un nodo in una struttura di linee?
7. Cosa è una “face”?
8. Cosa dice la regola di Eulero?
9. La regola di Eulero è più o meno restrittiva delle regole della topologia GIS?

7.1 - Modellazione Raster dello Spazio

Esiste una profonda differenza concettuale tra la rappresentazione di un oggetto tramite un punto (p.e. un pozzo o un traliccio a scale adeguate) e un altro tipo di entità puntuale quale può essere, ad esempio, la quota del terreno misurata in un certo punto. Nel primo caso il punto è la rappresentazione geometrica di un oggetto avente una sua completezza, nel secondo caso abbiamo una grandezza che si estende su tutto lo spazio (p.e. la quota del terreno) e che viene misurata in un insieme finito di punti; queste grandezze sono dette “campi”.

Nel primo caso possiamo parlare di Punto-oggetto, nel secondo di Punto-misura. Nel caso di un Punto-oggetto, esso indica la presenza di un'entità e all'intorno di essa, se non vi sono altri punti, non esistono entità dello stesso tipo. Nel caso invece del Punto-misura, la presenza di una primitiva indica il valore di una grandezza che è definita anche nell'intorno del punto stesso, anche se non vi sono altri Punti-misura. La mancanza di altri Punti-misura è dovuta a incompletezza dell'informazione, ma, dato una qualunque coppia di coordinate, sarebbe possibile definire un nuovo Punto-misura calcolando o misurando la grandezza in quel punto.

Oltre ai valori di quota del terreno, sono casi interessanti di Punti-misura le misure di piovosità, o di temperatura, o anemometriche raccolte in una serie di stazioni meteorologiche, ma che ovviamente si riferiscono a grandezze definite su tutto lo spazio; oppure le misure di temperatura e salinità dell'acqua del mare raccolte da navi oceanografiche, anch'esse conoscenza parziale e puntuale di grandezze definite su un'area molto vasta.

Quando una grandezza è definita su tutto lo spazio essa può essere rappresentata in modo analitico (cioè tramite un'equazione) oppure tramite valori definiti in una serie di punti, oppure ancora sfruttando linee o aree. Nell'esempio tipico della quota del terreno può essere rappresentata tramite punti quotati, o tramite curve di livello (linee) o tramite aree che definiscono regioni con quota compresa tra intervalli prefissati. Molto spesso si adottano contemporaneamente più tecniche.

L'utilizzo di punti-misura e linee isovalore per rappresentare grandezze definite su tutto lo spazio ha due ragioni storiche molto interessanti:

- le prime rappresentazioni di campi sono state fatte tramite strumenti grafici tradizionali e un campo non è rappresentabile con carta e penna se non tramite punti-misura e linee isovalore;
- le rappresentazioni tramite punti-misura e linee isovalore hanno il grande vantaggio di poter essere modulare in funzione dell'interesse; punti misura possono essere più densi in aree di interesse e meno densi in altre;
- la rappresentazione tramite linee isovalore permette di apprezzare non solo il valore della grandezza, ma anche grandezze derivate.

I Punti-misura che descrivono una certa grandezza possono essere distribuiti in modo irregolare o regolare: in quest'ultimo caso si parla di pixel. Il termine pixel deriva da “picture element” e indica una parte di un'immagine che è stata divisa in modo regolare in piccoli elementi.

L'idea di dividere un'immagine o in genere un “obiettivo di analisi” in una serie di elementi regolari (tassellazione) in modo da poter misurare quantità associate ai singoli elementi è abbastanza comune; sono esempi di tassellazione:

- Rasterizzazione di immagini fotografiche
- Rilevamento di immagini da satellite o da aereo tramite scanner
- Immagine televisiva
- Rilevamento per inventari forestali
- Rilevamento sistematico per l'archeologia.

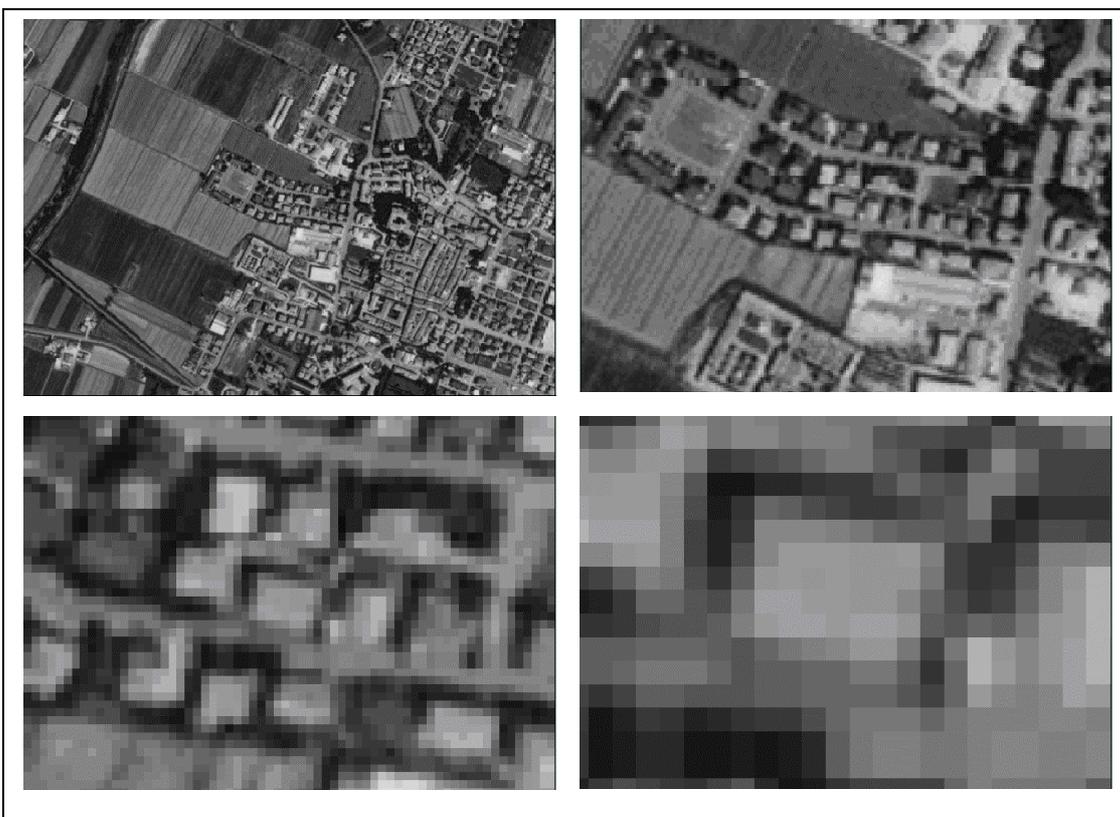
Come si vede la tassellazione non è soltanto un'eredità tecnologica, ma è stata utilizzata anche in settori disciplinari prima dell'avvento delle tecnologie elettroniche e informatiche.

La tassellazione occupa per definizione tutto lo spazio (o almeno quello in cui è definita la grandezza in esame) e ogni pixel ha un valore. La dimensione dei pixel è, salvo rare eccezioni, costante, indipendentemente dalla variabilità della grandezza.

Su questo concetto si basa il modello raster utilizzato per i dati territoriali. Lo spazio è considerato diviso in celle quadrate, più raramente rettangolari, appoggiate su una griglia regolare: la cella è l'unità di informazione (grid cell o pixel).

Nella logica dei vettori (punto, linea e area) esiste uno spazio vuoto in cui sono definiti alcuni oggetti; nella logica raster esiste un oggetto che permea tutto lo spazio e che è misurato in un insieme finito di elementi. Punto, linea e area rappresentano oggetti; il pixel non rappresenta un oggetto, ma è il luogo dove una grandezza assume un certo valore.

Quanto detto sembra contrastare con l'esperienza corrente, per cui in un'immagine rasterizzata noi vediamo "oggetti". In realtà gli oggetti che vediamo sono il risultato della nostra capacità elaborativa, e non sono contenuti in modo esplicito nell'immagine. Una sequenza di immagini ottenute da una foto aerea e ingrandite ogni volta di un fattore 3 mostra chiaramente come un pixel sia il luogo dove una grandezza (in questo caso la riflettanza) assume un certo valore e non si possa in alcun modo associare ad un pixel uno specifico oggetto.



La forma dei pixel deve essere tale da permettere di coprire in modo sistematico l'area di interesse. Sarebbe pertanto possibile usare, in linea di principio, pixel triangolari, esagonali, rettangolari e quadrati; tuttavia la forma dei pixel è generalmente quadrata in quanto: la stessa dimensione sui due assi facilita le operazioni matematiche. Nella maggior parte dei casi la tecnologia di acquisizione ha meccanismi indipendenti sul controllo della risoluzione sui due assi e quindi una tassellazione rettangolare sarebbe possibile. Così è stato ad esempio sui primi satelliti della serie Landsat, dove il pixel aveva dimensioni il cui rapporto era circa $\frac{3}{4}$. La tendenza attuale tuttavia è quella di avere pixel quadrati.

In un'immagine telerilevata, da satellite o da aereo, ciascun pixel è un Punto-misura che porta un'informazione relativa ad una parte di territorio. Possiamo immaginarci due processi diversi per arrivare a questo risultato: in un caso si riprende una fotografia tradizionale del territorio che sta al nadir dell'aereo o satellite e questa immagine viene tassellata; nell'altro è il territorio che viene tassellato. In ciascuno dei due casi, tuttavia, la misura associata ad un pixel è un valore di riflettanza di un'areola elementare di territorio. La struttura geometrica dei pixel nel dato raster è l'immagine della struttura

geometrica dei tasselli sul territorio: due pixel adiacenti su un asse nell'immagine corrispondono a misure effettuate sul territorio riguardanti due tasselli anch'essi adiacenti.

E' importante ricordare che un pixel non rappresenta un oggetto e il valore di radianza rappresenta una misura, non l'attributo di un'entità territoriale. Tuttavia i valori di radianza dipendono dagli oggetti presenti sul territorio per cui i pixel riportano, in una logica di contesto e non di singolo pixel, informazioni relative a tali oggetti.

7.2 - Il layer raster

Se abbiamo un'immagine che rappresenta un certo fenomeno e questa deve essere trattata all'interno di un sistema GIS, deve essere risolto il problema di relazionare l'immagine con lo spazio geografico. Come nel mondo vettoriale una primitiva, punto, linea o area che sia, si riferisce allo spazio per il fatto di essere espressa tramite coordinate, così deve accadere per un'immagine. In pratica ciascun pixel dell'immagine deve essere dotato di una coppia di coordinate che ne esprimono la posizione.

Associare a ciascun pixel di un'immagine una coppia di coordinate sarebbe estremamente dispendioso in termini di quantità di dati; esiste infatti la possibilità di relazionare ogni pixel al piano geografico in modo implicito, facilmente gestibile a livello informatico.

Un'immagine si rappresenta tramite una matrice, dove ciascun elemento è caratterizzato da un indice di riga i_r e uno di colonna i_c . In genere l'indice di riga assume il valore 1 per la prima riga in alto e valori successivi muovendosi dall'alto verso il basso; l'indice di colonna assume il valore 1 per la prima colonna a sinistra e valori successivi muovendosi da sinistra verso destra.

Il diagramma mostra una matrice raster con un sistema di coordinate cartesiane. L'asse X è orizzontale e l'asse Y è verticale. Le frecce indicano che l'indice di riga aumenta verso il basso e l'indice di colonna aumenta verso la destra. La matrice è composta da 10 righe e 10 colonne di numeri.

	7	66	70	67	26	24	30	30	32	28
	7	8	77	77	27	26	25	28	27	27
	7	9	75	80	89	24	24	28	28	23
	7	10	11	83	90	24	27	27	29	26
	8	9	90	82	22	24	30	32	26	28
	8	9	86	87	24	26	31	32	29	30
	8	8	80	83	75	26	27	29	30	31
	8	8	10	77	67	25	27	28	31	29
	9	10	11	11	22	24	25	27	29	28
	7	7	11	10	10	27	25	25	24	21

L'immagine, a sua volta, descrive una zona di territorio, e possiamo quindi immaginarla come adagiata all'interno dello spazio geografico che rappresentiamo con la presenza di due assi cartesiani.

Supponiamo di conoscere le coordinate geografiche (X_0, Y_0) del pixel di coordinate matriciali (1,1), cioè del pixel in alto a sinistra. Supponiamo ancora che l'immagine sia orientata in modo che le sue righe siano parallele all'asse delle X, e che la dimensione dei pixel, quadrati, sia Δ .

Noto questo, le coordinate geografiche del pixel alla colonna 2 e alla riga 1 (quello immediatamente a destra al pixel di riferimento) saranno $(X_0 + \Delta, Y_0)$, le quelle del pixel alla colonna 3 e alla riga 2 saranno $(X_0 + \Delta + \Delta, Y_0 - \Delta)$, e così via rispettando la formula generale:

$$(X, Y)_{i_r, i_c} = (X_0 + (i_c - 1) * \Delta , Y_0 - (i_r - 1) * \Delta)$$

Con semplici modifiche la formula riesce ad esprimere la relazione tra coordinate matriciali e coordinate reali nel caso di pixel non quadrati e anche nel caso in cui non vi sia parallelismo tra le righe della matrice e l'asse delle ascisse.

In genere si intende come coordinate del pixel le coordinate del suo punto centrale. Se il pixel è di dimensioni relativamente grandi, può essere utile considerare come origine della matrice non il centro del pixel (1,1), ma il vertice in alto a sinistra dello stesso pixel, cioè il punto più in alto a sinistra della nostra informazione. In questo caso la formula precedente assume la forma più corretta

$$(X, Y)_{i_r, i_c} = (X_0 + (i_c - 1) * \Delta + \Delta / 2 , Y_0 - (i_r - 1) * \Delta - \Delta / 2)$$

7.3 - Da raster a vector

Si consideri un'immagine relativa alla ripresa di una zona a cavallo della linea di costa. I valori di radianza indicano, con valori bassi, l'area scura del mare; altri valori abbastanza elevati indicano il forte riflesso di una spiaggia di sabbia e infine valori intermedi rappresentano una zona boscata (p.e. una pineta) a ridosso della spiaggia

Supponiamo di avere le informazioni necessarie per dire che in questa zona e nelle condizioni in cui è stata acquisita l'immagine i valori di radianza compresi tra 0 e 15 indicano "mare", quelli compresi tra 20 e 35 "pineta" e infine quelli tra 70 e 100 "spiaggia". Siamo allora in grado di trasformare la prima matrice in una seconda matrice, in cui ad ogni valore di radianza è stato

7	66	70	67	26	24	30	30	32	28
7	8	77	77	27	26	25	28	27	27
7	9	75	80	89	24	24	28	28	23
7	10	11	83	90	24	27	27	29	26
8	9	90	82	22	24	30	32	26	28
8	9	86	87	24	26	31	32	29	30
8	8	80	83	75	26	27	29	30	31
8	8	10	77	67	25	27	28	31	29
9	10	11	11	22	24	25	27	29	28
7	7	11	10	10	27	25	25	24	21

di radianza è stato sostituito un valore simbolico che indica mare (con 1), pineta (con 3) e spiaggia (con 2).

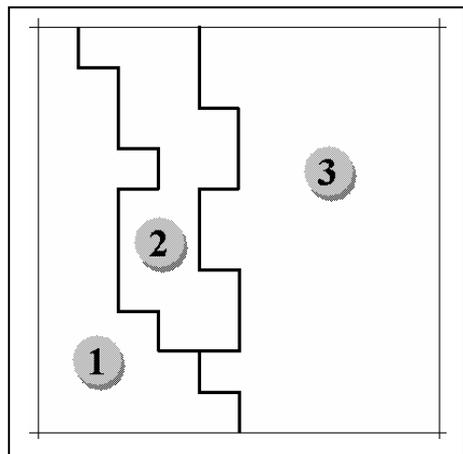
1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Nella matrice così ottenuta, è evidente il fatto che un pixel non rappresenta un oggetto, bensì una zona dello spazio che fa parte di un oggetto. L'operazione eseguita si chiama classificazione e trasforma misure fisiche in simboli.

Poiché ogni pixel identifica una parte di spazio che fa parte di un oggetto, due o più pixel adiacenti con lo stesso valore simbolico saranno tutti riconducibili allo stesso oggetto sul territorio.

1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Questa operazione, detta accorpamento, permette di definire insiemi di pixel che si differenziano da altri insiemi per il valore del simbolo associato. Se evidenziamo questa separazione con una linea si ha la ricostruzione geometrica dei bordi dell'oggetto iniziale; tale ricostruzione ovviamente risente della quantizzazione dovuta alla forma e alle dimensioni del pixel.



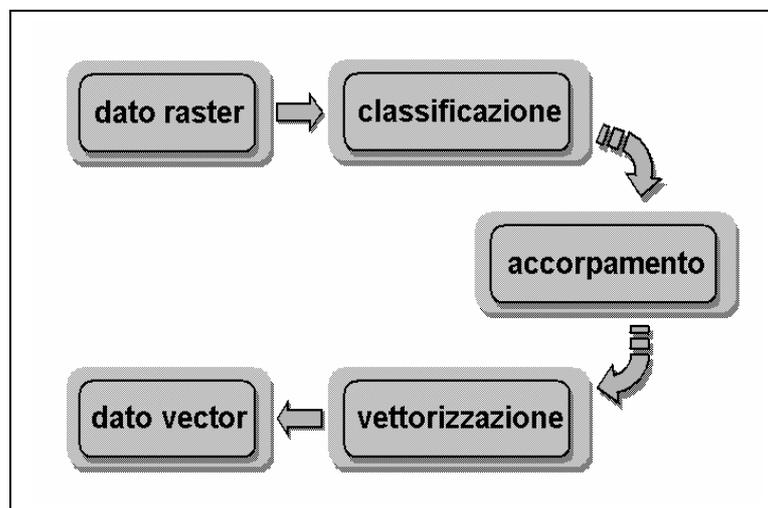
Finalmente eliminiamo le quadrettature dovute alla presenza dei pixel. Le linee che rimangono descrivono gli oggetti presenti sul territorio (mare, pineta, spiaggia) in termini di aree, cioè di elementi vettoriali.

Il passaggio dal mondo delle misure al mondo degli oggetti ha richiesto i seguenti passi:

- un processo di classificazione (si noti che questo processo esula da un mondo strettamente GIS in quanto richiede la competenza di un esperto disciplinare o almeno la presenza di un modello messo a punto in un contesto disciplinare);
- un processo di accorpamento, secondo il quale i singoli pixel sono considerati parti di entità geometriche più ampie;
- un processo di vettorizzazione che trasforma i bordi di alcuni pixel in aree.

In genere il mondo raster è più adatto a misurare grandezze che variano con continuità mentre con oggetti di tipo vettoriale si rappresentano bene oggetti il cui carattere principale è la discontinuità al bordo. Una indiretta conseguenza di questo è che il mondo raster rappresenta meglio oggetti “naturali” e il mondo vector oggetti creati dall’uomo.

Il processo che abbiamo seguito per il trattamento di un’immagine telerilevata è di fatto un processo che trasforma un’informazione relativa ad una grandezza continua sul territorio (la radianza) in altre informazioni relative alla presenza di oggetti ben definiti. La prima grandezza è rappresentata in raster, le altre sono rappresentate tramite vettori.



Riprendendo l’esempio della quota del terreno, è evidente che la rappresentazione più adatta all’interno di un sistema GIS è quella raster; tuttavia sulla carta disegnata non è possibile rappresentare una grandezza per pixel e si ricorre ad una rappresentazione vettoriale tramite curve isovalore. Questa rappresentazione ha il vantaggio che l’informazione è più densa là dove la grandezza varia più velocemente (nelle zone impervie) e ha densità bassa dove la grandezza varia più lentamente (pianura). In pratica la rappresentazione è migliore dove serve che sia migliore.

Al contrario la rappresentazione raster usa pixel tutti delle stesse dimensioni sia quando sarebbe opportuno averne una maggiore densità (zone impervie) sia quando i pixel gestiti sono inutili (ampie zone pianeggianti).

7.4 - Vari tipi di immagini

Esistono diversi tipi di immagini raster che riportano informazioni sul territorio. A seconda del tipo il contenuto informativo varia e analogamente varia la gestione all'interno di uno strumento GIS. I diversi tipi di immagini raster sono descritti di seguito.

Immagini fisiche

Nel caso delle immagini fisiche ogni pixel indica una misura effettuata in una particella di territorio relativa ad una grandezza definita in genere in modo continuo sul territorio stesso. Nel caso più comune la particella è quadrata (pixel) e la misura può riferirsi:

1. al valore medio che la grandezza prende all'interno del pixel;
2. ad un valore estremo che la grandezza prende all'interno del pixel (massimo o minimo);
3. al valore che la grandezza prende nel centro del pixel.

Nel caso di immagini telerilevate da aereo o da satellite e acquisite tramite uno scanner, la grandezza che si misura è la quantità di energia proveniente dal pixel per meccanismi di riflessione o di emissione; poiché il sensore fa un'unica misura dell'energia proveniente dal pixel, siamo nel primo caso.

Dovendo creare una mappa di visibilità (quali punti sono visibili da un certo punto in funzione dell'orografia) dovremo trattare dati altimetrici. Se questi sono un'immagine raster, è molto meglio conoscere la quota massima che il terreno raggiunge all'interno del pixel che non la quota media. Siamo quindi nel secondo caso. (Questa affermazione è tanto più vera quanto più grandi sono le dimensioni del pixel).

Come esempio del terzo caso possiamo citare gli inventari basati su una tassellazione del terreno. Viene rilevata una grandezza al centro del pixel (p.es. l'altezza di alberi nel caso di un'inventario forestale) e si suppone che la grandezza assuma lo stesso valore su tutto il pixel. La validità di questa assunzione è tanto maggiore quanto più grande è il numero di pixel che vengono trattati.

Un'immagine fisica si presenta tipicamente come in figura, cioè con valori che variano in continuazione da un pixel all'altro, spesso in modo relativamente continuo. Poiché in genere la grandezza trattata è continua, un'immagine fisica è interpolabile.

7	66	70	67	26	24	30	30	32	28
7	8	77	77	27	26	25	28	27	27
7	9	75	80	89	24	24	28	28	23
7	10	11	83	90	24	27	27	29	26
8	9	90	82	22	24	30	32	26	28
8	9	86	87	24	26	31	32	29	30
8	8	80	83	75	26	27	29	30	31
8	8	10	77	67	25	27	28	31	29
9	10	11	11	22	24	25	27	29	28
7	7	11	10	10	27	25	25	24	21

Un'immagine fisica può essere georeferenziata, in modo da poter essere appoggiata in modo coerente su altri dati geografici. Dopo la georeferenziazione, ad ogni pixel dell'immagine è associabile una coppia di coordinate; queste tuttavia non vengono esplicitate in quanto, se le dimensioni del pixel dell'immagine sono note e è nota anche l'orientazione dell'immagine (in genere le righe sono orientate Est-Ovest), è sufficiente conoscere le coordinate di un singolo pixel (spesso quello in alto a sinistra); le altre sono facilmente ricavabili.

Un'immagine fisica può essere compressa sia con algoritmi non distruttivi (cioè che lasciano invariati i valori di tutti i pixel), ma anche con algoritmi distruttivi (cioè che modificano i valori di alcuni pixel, anche se in modo trascurabile per un'analisi visiva). L'utilizzo di algoritmi distruttivi è possibile in quanto l'immagine è in genere usata per essere vista.

Immagine classificata

In un'immagine classificata ad ogni pixel è associato un valore simbolico, il cui significato è da ricercarsi all'interno di una legenda predefinita.

Un esempio di immagine classificata è una mappa raster di copertura del suolo, dove ogni pixel assume un valore (numerico o alfabetico); per risalire al contenuto del pixel occorre una tabella che associ al valore del pixel il tipo di copertura del suolo.

Un'immagine classificata può essere generata da diversi processi:

1. Classificazione di un'immagine fisica. Il processo di classificazione trasforma, secondo un modello predefinito, insiemi di pixel che riportano il valore di una grandezza in insiemi di pixel che indicano "classi". Nel caso di un'immagine telerilevata i valori di radianza possono essere trasformati in simboli che indicano classi di "land cover".
2. Rasterizzazione di dati vettoriali. Una mappa vettoriale, ad esempio di aree con associato un valore, può essere rasterizzata sovrapponendo ad essa una griglia e assegnando ad ogni pixel della griglia il valore dell'area corrispondente. In questo caso non si ha un processo di classificazione in quanto la mappa vettoriale è già un dato "classificato", ma soltanto una variazione del modello geometrico.
3. Acquisizione. Questo caso è identico al terzo caso del punto precedente, salvo il tipo della grandezza considerata. Se la grandezza che viene acquisita non è una grandezza fisica su cui si possono fare ipotesi di continuità, ma una grandezza che descrive una tipologia, l'immagine risultante è un'immagine classificata; di fatto quando durante l'acquisizione di associa ad un pixel il valore di una grandezza che descrive dei "tipi", è l'operatore stesso che ha fatto un processo di classificazione. Nel caso di un inventario forestale, una grandezza di questo tipo può essere, ad esempio, l'essenza delle piante.

Un'immagine classificata si presenta come in figura, cioè con valori raggruppati in blocchi e senza alcuna idea di continuità. Poiché la grandezza trattata è discontinua, un'immagine fisica non è interpolabile.

Un'immagine classificata può essere georeferenziata, in modo analogo ad un'immagine fisica e quindi sono calcolabili le coordinate di ciascun pixel, note in genere in modo implicito.

1	2	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Un'immagine classificata può essere compressa unicamente con algoritmi non distruttivi. L'uso di algoritmi distruttivi infatti potrebbe portare alla modifica di valori di pixel assegnando addirittura valori che non hanno un corrispondente nella legenda.

Immagine cartografica

Si intende con immagine cartografica un documento raster ottenuto dalla scansione tramite uno strumento rasterizzatore di una carta. Da un punto di vista strettamente fisico ogni pixel indica una misura di riflettanza effettuata in una zona di una carta e quindi l'immagine potrebbe essere considerata un'immagine fisica; tuttavia l'informazione acquisita (quella contenuta nella carta) è un'informazione che viene a valle di una classificazione (quella dell'operatore che ha costruito la carta).

Se un'immagine cartografica riguarda una cartografia in bianco e nero, come accade nella maggior parte dei casi, l'immagine è binaria e i normali algoritmi di compressione sono in questo caso molto efficienti; immagini di aree relativamente grandi hanno quindi una dimensione contenuta. In un caso analizzato, un'immagine in bianco e nero di 10760 x 8850 pixel (oltre 95 Mpixel) in formato TIFF ha una dimensione di circa 2500 Kbyte.

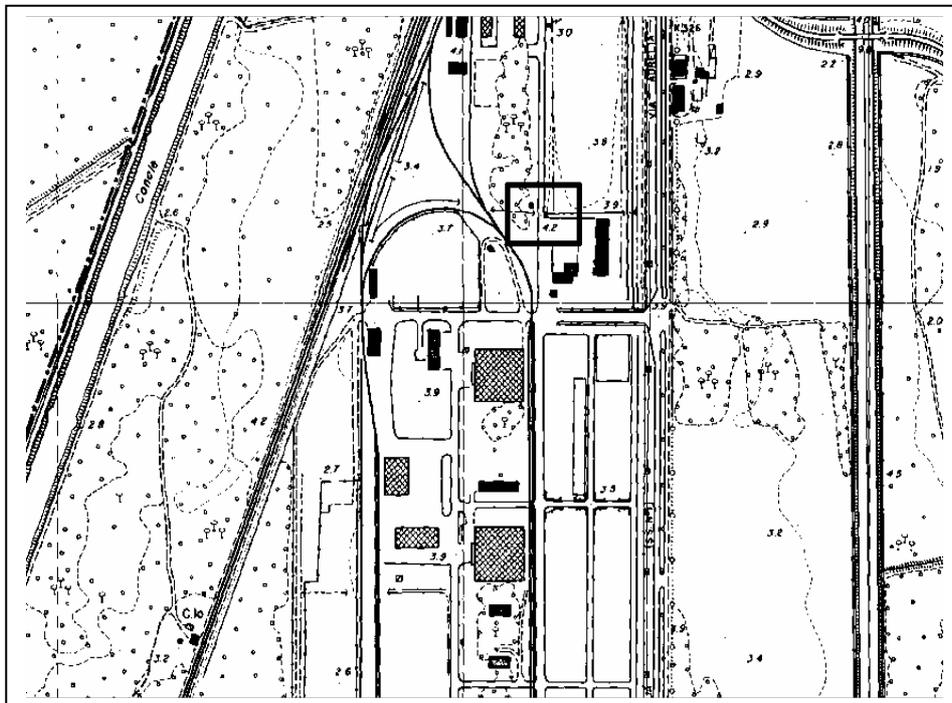
L'immagine cartografica è uno strumento di grande valore in quanto permette di interpretare al meglio informazioni vettoriali che, riprodotte da sole, sarebbero di lettura difficile e non rapportabili ad un contesto; inoltre questa metodologia permette di utilizzare l'enorme quantità di materiale cartaceo esistente inserendolo, a costi contenuti, in strumenti GIS.

Un'immagine cartografica di tipo binario si presenta come in figura, coi valori ad 1 raggruppati in strutture lineari che riportano i tratti del pennino sulla carta. Come per un'immagine classificata, la grandezza riportata è discontinua e quindi l'immagine non è interpolabile.

Un'immagine cartografica viene in genere georeferenziata, e questa operazione è semplice e accurata a causa della natura stessa della carta.

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

Una cartografia rasterizzata o base raster appare come nella figura seguente, cioè né più né meno di come appare sulla carta da cui proviene. La zona segnata da un rettangolo è stata ingrandita nella figura seguente per evidenziare la struttura raster dell'informazione.



Immagini fotografiche

Le immagini fotografiche sono le comuni fotografie che, all'interno di uno strumento GIS, possono essere usate per documentare oggetti di particolare interesse. Ad esempio, immagini fotografiche di ciminere, edifici, monumenti possono essere utilizzate per creare catasti georeferenziati di tipo ambientale, per applicazioni urbanistiche, per strumenti di ottimizzazione dei percorsi turistici.

L'immagine è memorizzata secondo uno dei formati commerciali noti e viene richiamata in un'apposita finestra quando necessario. Sull'immagine non si fanno elaborazioni, ma solo eventuali interventi per migliorarne la qualità.

Le immagini fotografiche vengono georeferenziate in modo diverso dalle altre. Mentre nei casi precedenti ogni pixel era associabile ad una coppia di coordinate, in questo caso tutta l'immagine si riferisce ad un'entità e viene associata ad essa. Sono possibili i seguenti casi:

- L'immagine fotografica (o foto) si riferisce ad un oggetto già rappresentato nell'archivio GIS, ad esempio con una primitiva punto. La foto può essere un attributo dell'oggetto e la sua georeferenziazione è quindi quella dell'oggetto;
- La foto non si riferisce ad alcun oggetto già esistente nell'archivio GIS, ma si riferisce comunque ad un'entità territoriale. In questo caso si definisce un nuovo oggetto, modellato dalla primitiva punto, cui è associata, come attributo, la foto. Il punto ha le coordinate dell'entità territoriale. Questo modello può essere più complicato sulla base di altre considerazioni, come ad esempio il fatto che l'entità territoriale sia abbastanza estesa da essere modellata come area, oppure la necessità di inserire, come ulteriore attributo, le coordinate del punto di ripresa, o caratteristiche tecniche della ripresa (tipo di pellicola, di obiettivo, ecc.);
- La foto non si riferisce ad alcun oggetto già esistente nell'archivio GIS, né ad alcuna entità territoriale ben definita (è il caso, ad esempio di un panorama). Si può procedere come nel caso precedente, definendo un nuovo oggetto areale di forma indicativamente triangolare (la vista della foto) e associando ad esso la foto come attributo. Si può in alternativa prendere in considerazione come nuovo oggetto il punto di ripresa e associare ad esso, come attributi, la foto, la direzione di ripresa, l'apertura della vista, ed altre eventuali caratteristiche tecniche della ripresa.

La tabella che segue riporta in sintesi quali trattamenti possono essere applicati ai vari tipi di immagine.

<i>Tipo immagine</i>	<i>Visualizzazione</i>	<i>Classificaz.</i>	<i>Elabor. GIS</i>	<i>Interpolaz.</i>	<i>Registrazione</i>
Fisica	SI (come strato)	SI	NO	SI	Completa
Classificata	SI (come strato)	NO	SI	NO	Completa
Cartografica	SI (come strato)	NO	NO	NO	Completa
Fotografica	SI (come foto)	NO	NO	SI	Punti privilegiati

7.99 - Il modello raster – Autovalutazione

1. Qual è la differenza tra un oggetto rappresentato con un punto e un punto che indica una misura?
2. Cosa è il pixel? Quale informazione porta?
3. A quali dati si adatta il modello raster?
4. Cosa vuol dire classificare un'immagine raster?
5. Elencare i 4 tipi di immagini e specificarne le caratteristiche?
6. Cosa vuol dire registrare un'immagine?
7. Quali tipi di immagini è possibile registrare?
8. Cosa vuol dire registrare un'immagine?

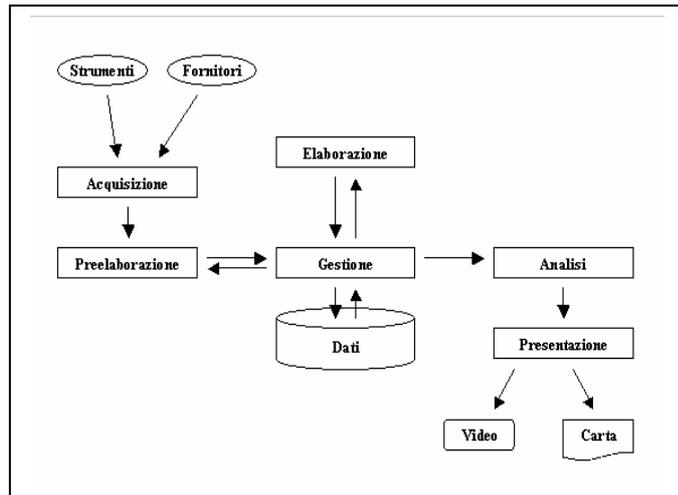
8.1 - Funzionalità tecniche

Come tutti i sistemi, anche i Sistemi Informativi Territoriali prevedono una fase in cui i dati sono immessi nel sistema, una fase in cui sono gestiti ed elaborati e una in cui i risultati vengono portati all'esterno. In questa discussione la nostra attenzione è rivolta allo strumento informatico e non prenderemo in considerazione i dati, le competenze umane e il contesto organizzativo.

Nel caso dei Sistemi Informativi Territoriali si possono suddividere le tre fasi in sei parti che chiameremo acquisizione, preelaborazione, gestione, elaborazione, analisi e presentazione.

La fase di acquisizione si occupa

- di immettere nel sistema dati partendo dal loro formato naturale e traducendoli in un formato gestibile direttamente da un calcolatore; questo richiede l'utilizzo di periferiche (tavolo digitalizzatore, scanner, ecc.) e di software specializzati;
- di acquisire all'interno del sistema dati già in formato numerico forniti da terzi.



La fase di preelaborazione è una fase necessaria per trasformare dati in formato numerico, e come tali già trattabili da un calcolatore, in dati adatti ad essere gestiti dal software che stiamo usando nella nostra specifica installazione e coerenti con gli altri dati che possediamo. La fase di preelaborazione trasforma una accozzaglia di dati in un insieme organico e coerente di dati.

La fase di preelaborazione prevede operazioni che, in alcuni casi, vengono eseguite contemporaneamente alla fase di acquisizione: pertanto non sempre le due fasi sono chiaramente separabili.

Rendere i dati acquisiti coerenti con gli altri gestiti dal sistema richiede spesso un processo in cui i due gruppi di dati vengono confrontati; questo è evidenziato dalla freccia che parte dal sistema di gestione e va in direzione del sistema di preelaborazione.

La gestione non è un momento singolare nella vita del dato; essa consiste nella presenza di una serie di risorse, a supporto del dato stesso, che intervengono nei vari momenti della vita del dato: quello della immissione del dato nel sistema, quello del suo richiamo per analisi e interrogazioni e infine quello del suo uso per disegnare carte e produrre tabelle.

La gestione del dato avviene tramite strumenti informatici noti come Data Base Management Systems (DBMS) o, nel nostro caso, GeoDSMB che permettono di gestire i dati in modo efficiente; la contropartita dell'efficienza è che tali strumenti costituiscono una barriera tra i dati e chiunque voglia accedervi; in altre parole una volta scelto un GeoDBMS esso costituisce l'unico modo per leggere i dati dal sistema o per scriverne di nuovi.

Le fasi di analisi e elaborazione riguardano tutte le operazioni che l'utente compie per manipolare e trasformare i dati secondo vari criteri ed estrarre da essi le informazioni utili al proprio lavoro. Le operazioni che i sistemi riescono a compiere sono molte e dipendono dal sistema stesso e dai dati su cui si opera. Le funzionalità disponibili in queste due fasi sono molte e possono essere classificate secondo vari criteri; nella figura si tende a separare i processi che trasformano i dati e creano nuovi livelli informativi da quelli che rispondono a domande, anche complesse, formulate dall'utente.

La fase di presentazione è quella in cui i dati presenti nel sistema, selezionati e/o manipolati dall'utente tramite un'azione di analisi, vengono presentati su un supporto cartaceo (tramite stampanti o plotter) o volatile (tipicamente un video terminale).

8.99 - Funzionalità tecniche – Autovalutazione

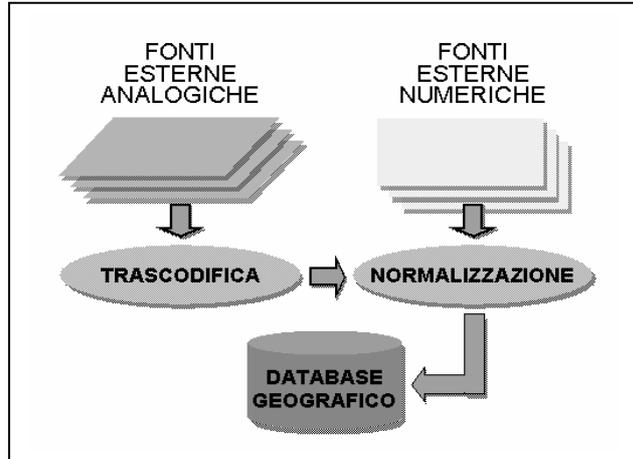
1. Come si potrebbero riaccorpate in un numero minore di fasi le sei fasi di acquisizione, preelaborazione, gestione, analisi, elaborazione e presentazione?
2. Quali funzionalità esaminate nella fase precedente del corso potrebbero essere considerate “preelaborazione”
3. Qual è la differenza tra elaborazione e analisi?

9.1 - I tipi di fonti di informazione

Possiamo dividere le fonti di informazione di dati territoriali in due tipi: quelle in cui il dato non è in un formato tale da poter essere usato da un elaboratore e quelle in cui il dato è già in formato numerico.

Chiameremo le prime fonti analogiche e le seconde fonti numeriche.

La prima operazione da fare quando si ha a che fare con una fonte analogica è la trascodifica del dato da un supporto in genere cartaceo ad un supporto informatico. Successivamente il dato, ora in formato numerico, viene sottoposto ad una serie di processi che lo rendono adatto ad essere inserito in uno specifico DataBase geografico.



Infatti il DataBase geografico di un certo Sistema sarà stato costruito secondo certe regole (regole riguardanti la semantica, il sistema di riferimento, lo standard di documentazione, ecc.) e i dati che vanno inseriti in tale Sistema devono rispettare quelle regole. I dati che sono già disponibili in formato numerico non hanno ovviamente bisogno del primo passo (la trascodifica), ma, indipendentemente dalla loro qualità, dovranno sicuramente essere sottoposti anch'essi al processo di normalizzazione tipico del Sistema dove andranno inseriti.

Le fonti di informazione di dati territoriali possono essere elencate secondo diversi criteri. Riportiamo tramite tabelle un elenco basato sull'analisi dei documenti e degli strumenti da cui i dati provengono. Le tabelle riportano nella prima colonna l'origine del dato (documento o strumento), nella seconda il tipo di dato che può essere acquisito e nella terza il processo (o i processi) di acquisizione.

cartografia disegnata		
origine del dato	dato da acquisire	processo di acquisizione
Cartografia disegnata di qualsiasi tipo (dato analogico)	Elementi vettoriali	acquisizione senza elaborazione
		acquisizione con reinterpretazione geometrica
	Elementi "campo"	acquisizione con reinterpretazione tematica
Immagine Raster (immagine cartografica)		acquisizione di elementi vettoriali ed elaborazione
		rasterizzazione e georeferenziazione

Il primo caso è quello in cui il documento di origine è una cartografia disegnata, qualunque sia il suo tipo.

Da una cartografia disegnata possiamo innanzitutto acquisire elementi di tipo vettoriale (punti, linee e aree) che rappresentano certi tipi di entità. In alcuni casi le primitive geometriche vengono acquisite così come sono disegnate (p.e. bordi di edifici), in altri casi è necessaria una reinterpretazione geometrica (p.e. le strade), in altri è necessaria anche una reinterpretazione tematica (p.e. aree urbanizzate da cartografia a grande scala).

Nella cartografia disegnata sono riportate, con un'apposita rappresentazione, grandezze che abbiamo definito di tipo

"campo", cioè grandezze definite su tutto lo spazio, di cui si riportano i valori in alcuni punti. In questo caso il procedimento corretto consiste nell'acquisizione dei valori delle grandezze "campo" nei punti ove sono noti, nella loro rielaborazione e nella rappresentazione finale della grandezza secondo il modello raster.

Infine, con un processo di scansione, possiamo acquisire l'intero documento cartografico come "immagine cartografica" e sottoporlo quindi ad un processo di georeferenziazione.

Un altro documento da cui possiamo estrarre informazione territoriale è l'immagine ripresa dall'alto, in genere una foto aerea, ma anche di fonte satellitare. Anche in questo caso parliamo unicamente di dati su supporto cartaceo, e quindi di fonti analogiche.

Da questo tipo di documento possiamo estrarre, come nel caso della cartografia, elementi vettoriali, ma mentre sulla carta i dati sono già "interpretati", nel caso della foto questo processo deve essere compiuto. L'operazione, che richiede un esperto disciplinare, può essere compiuta in diversi modi.

Occorre sottolineare in questo caso il processo classificato come

"aggiornamento per fotorestituzione a video", in quanto costituisce un ottimo complemento al più costoso procedimento di produzione cartografica. Quest'ultima, per motivi di costo, può essere prodotta a intervalli di 10-15 anni, a seconda della scala, ma all'interno di questo periodo si opera comunque con informazione datata, e questo è tanto più critico quanto maggiore è la scala. Il processo di "aggiornamento per fotorestituzione a video", basato anche su immagini satellitari, dà la possibilità di aggiornare, per esempio a livello annuale, con costi contenuti il primo impianto cartografico. Il risultato non avrà le stesse qualità metriche, ma i vantaggi dell'aggiornamento saranno comunque superiori a questo svantaggio.

L'immagine della foto aerea, acquisita tramite scanner e georeferenziata, può essere inserita in un Sistema come dato raster, cioè come immagine georeferenziata che descrive il territorio tramite la sua rappresentazione diretta; sarà compito dell'operatore leggere l'immagine ed estrarne le informazioni opportune.

Infine, con un processo proprio della fotogrammetria, è possibile trattare coppie di foto aeree e, dopo alcune elaborazioni, ottenere un modello digitale del terreno, in formato raster.

foto aerea		
origine del dato	dato da acquisire	processo di acquisizione
Foto aerea o da satellite (dato analogico)	Elementi vettoriali	fotointerpretazione e successiva digitalizzazione
		fotointerpretazione a video
		fotointerpretazione a video (aggiornamento)
	acquisizione tramite fotorestitutore analitico	
	Immagine raster	rasterizzazione e georeferenziazione
	Modello digitale del terreno	acquisizione ed elaborazione di profili

Un altro tipo di fonte consiste in immagini ottenute da piattaforma aerea, ma non come nel caso precedente, su supporto cartaceo, bensì tramite uno scanner aviotrasportato, e quindi direttamente su supporto numerico.

L'informazione può sembrare la stessa della foto aerea, ma in genere i due tipi di dati differiscono notevolmente; infatti l'immagine su supporto cartaceo ha un'acutezza geometrica migliore, mentre l'immagine ripresa da scanner ha una maggiore ricchezza spettrale. Questa diversità si riflette nella diversità dei prodotti ottenibili.

immagine da scanner		
origine del dato	dato da acquisire	processo di acquisizione
Immagine da scanner aviotrasportato (dato numerico)	Elementi vettoriali	fotointerpretazione a video
		fotointerpretazione a video (aggiornamento)
		acquisizione dopo classificazione (semi)automatica
	Immagine raster	georeferenziazione
	Modello digitale del terreno	elaborazioni specifiche
	Immagine classificata	georeferenziazione e processo di classificazione

Come nel caso della foto su supporto cartaceo, è possibile interpretare l'immagine ed estrarre dati vettoriali e ugualmente potremo avere un dato raster georeferenziato.

Tuttavia sarà possibile, in questo caso, anche avviare processi di classificazione automatica, a causa della ricchezza spettrale, ed ottenere, tramite le tecniche di elaborazione di immagini, carte tematiche; al contrario, per la limitata risoluzione geometrica, modelli digitali del terreno, ottenibili peraltro in modo completamente automatico, non avranno un'accuratezza eccessiva.

Oltre ai tre tipi di documenti esaminati, è possibile acquisire informazione territoriale e inserirla in un Sistema sfruttando altre fonti e utilizzando altri processi.

Una fonte di informazione importante consiste nella disponibilità di archivi alfanumerici che riportano caratteristiche descrittive (attributi) di dati territoriali. Si tratta di fonti sia analogiche che numeriche; nel primo caso la numerizzazione può avvenire tramite digitalizzazione tradizionale o, se la qualità di stampa è buona, tramite lettori automatici di caratteri (OCR). Sarà poi necessario creare i legami tra questi dati e le primitive geometriche acquisite con altri processi. Quest'ultima attività può essere eseguita sia in una fase di creazione di archivi, sia dinamicamente in fase di analisi/elaborazione.

Il rilevamento di dati sul campo è un'altra importante fonte di informazione; accanto agli strumenti tradizionali, sta diventando sempre più diffuso, in questo campo, utilizzo del GPS.

Un ulteriore documento che può essere inserito in un Sistema di trattamento di dati geografici consiste nell'immagine fotografica, cioè la fotografia tradizionale, ripresa dal piano campagna, che descrive un panorama, un oggetto, una qualunque scena. È possibile rasterizzare fotografie esistenti o acquisire immagini direttamente tramite macchina fotografica digitale e inserirle quindi nel Sistema creando gli opportuni collegamenti con gli oggetti territoriali corrispondenti.

Esiste infine la possibilità di acquisire dati geografici da fornitori esterni. Questa possibilità, limitata fino a qualche anno fa a pochissimi fornitori istituzionali, sta rivoluzionando il mercato dell'informazione geografica. Gli Enti pubblici istituzionali, ma anche quelli non istituzionali e perfino soggetti privati si sono affacciati al mercato dell'informazione geografica offrendo sia dati grezzi che dati elaborati anche di buona qualità; in molti casi dati e servizi associati sono offerti a titolo gratuito e Internet costituisce il veicolo di comunicazione privilegiato. L'acquisizione di dati da fornitori esterni richiede in ogni caso il processo di normalizzazione.

altri processi		
origine del dato	dato da acquisire	processo di acquisizione
Tabelle	Attributi	data entry tradizionale o uso di OCR
Direttamente dal terreno	Elementi vettoriali	GPS, distanziometro
Documento fotografico su carta	Attributo consistente nell'immagine fotografica (raster)	acquisizione tramite scanner
Fornitori esterni	Ogni tipo di dato	inserimento nel sistema

9.2 - Revisione del modello dati

Trasportare informazione geografica all'interno di un elaboratore presuppone molto spesso modificare la struttura dell'informazione stessa, in quanto essa, nei documenti di origine, è spesso non strutturata, mentre una strutturazione è necessaria per un trattamento informatico.

Il caso più tipico è quello della cartografia tradizionale, dove gli oggetti esistenti sul territorio e riportati sul supporto cartaceo vengono descritti usando una tecnica e una simbologie assai più complesse di quanto può sembrare a prima vista. Nella cartografia tradizionale disegnata si fa affidamento sulla capacità dell'operatore di interpretare i tratti riportati sulla carta e di astrarre da essi gli oggetti realmente esistenti sul territorio e le loro caratteristiche. Sono esempi interessanti:

- 1 - La curva di livello che si interrompe per un edificio e la nostra capacità di interpretarne la continuità
- 2 - La strada al 25000 dove, a scale sufficientemente piccole, non tutti i tornanti sono riportati
- 3 - una strada o una piazza a grande scala, che sono viste come lo spazio vuoto tra diversi edifici e altre strutture.

La digitalizzazione di linee e punti presenti su un supporto cartografico tradizionale ha come risultato un insieme di elementi ciascuno dei quali rappresenta in genere una parte di un oggetto o di più oggetti. Una linea sarà una parte di un bordo di strada e contemporaneamente una parte del perimetro di un edificio: tale linea è associabile direttamente ad un oggetto con la relazione

è un elemento costituente di

ma non con la relazione

è la completa descrizione geometrica di secondo un certo modello.

E' evidente che la memorizzazione di dati codificati in questo modo permetterà il ridisegno del documento originale, ma non l'identificazione di un singolo oggetto (strada o edificio) e in generale neanche l'identificazione di una classe di oggetti (tutte le strade o tutti gli edifici). Questa tecnica di memorizzazione è citata a volte come tecnica CAD (prevalentemente orientata ad un processo di disegno automatico e non si presta, salvo casi particolari, a processi di elaborazione dei dati.



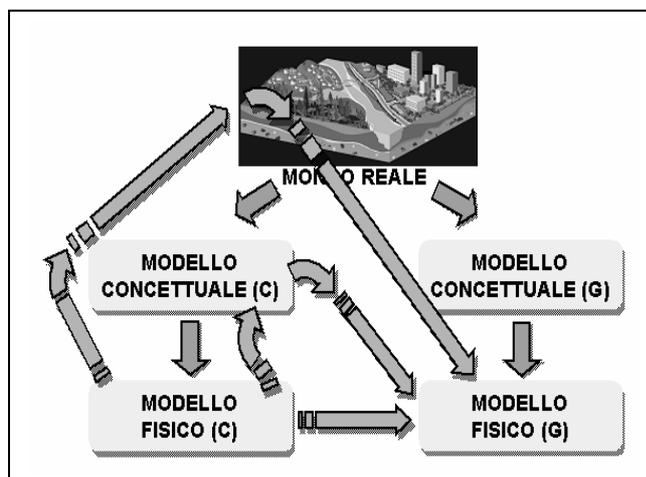
Da quanto detto sopra segue che quello che compare su una cartografia (e in genere su un qualunque supporto) non è quello che verrà inserito nella memoria di un elaboratore durante la costruzione di un archivio GIS.

Il modello proposto dalla tecnologia GIS è quello secondo cui ogni oggetto è definito in maniera univoca da (preferibilmente) una o (raramente) da più primitive geometriche collegate ad una serie di attributi. Un oggetto è completamente autonomo rispetto al contesto e non ha bisogno dell'esistenza degli altri oggetti per essere esaminato e disegnato.

In alcuni casi il modello fisico usato per rappresentare un oggetto su una carta è lo stesso che possiamo usare nello strumento GIS. È il caso di un "traliccio" di una linea elettrica rappresentato come punto sia su una carta (a certe scale) sia in un DataBase geografico.

In altri casi il modello concettuale usato per rappresentare un oggetto su una carta è lo stesso che possiamo usare nello strumento GIS, ma i modelli fisici sono diversi. È il caso di un asse stradale, modello concettuale usato per rappresentare una strada. In una carta a piccola scala a questo modello concettuale corrisponde un disegno fatto da una coppia di linee equidistanti che non rappresentano certo i bordi della strada. In un DataBase geografico, invece, la mezzzeria è rappresentata con un'unica linea.

Più complesso infine il caso di una strada o una piazza che il cartografo, a grande scala, semplicemente non disegna; egli infatti non ha dubbi che tale entità sia comunque percepita dal lettore, in quanto ambedue condividono alcuni concetti riguardanti la struttura dell'urbanizzato. Se invece vogliamo rappresentare l'entità piazza all'interno di un DataBase geografico, dovremmo usare un modello, presumibilmente areale, e codificare la piazza con tutto il suo bordo. Analizzando lo stesso caso in termini di viabilità invece che di spazio urbano, sarebbe più corretto utilizzare il modello lineare. In questo caso possiamo parlare, anche se in modo un po' approssimativo, di modifica sia del modello fisico che di quello concettuale.



9.99 - I tipi di fonti informative – Autovalutazione

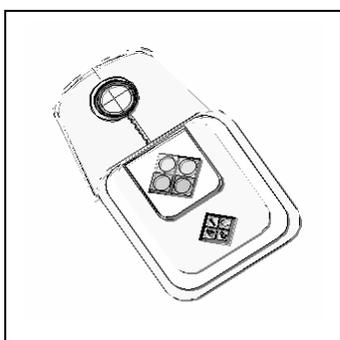
1. Elencare i vari tipi di fonti informative
2. Qual è il ruolo e lo spazio di mercato dei fornitori privati di dati geografici rispetto ai fornitori istituzionali? Come ritenete che sia variato nel tempo il ruolo dei due tipi di soggetti?
3. Elencare elementi di complessità e semplificazione nel “modello GIS” rispetto al “modello CAD”

10.1 - Tavolo digitalizzatore

Il tavolo digitalizzatore è stato per molti anni lo strumento base per l'acquisizione di dati geografici; attualmente viene usato più raramente, in quanto in molti casi altre tecnologie di acquisizione sono preferibili.

Un tavolo digitalizzatore consiste in un supporto piano, le cui dimensioni vanno da 10x10 pollici (25x25 cm) fino al formato doppio A0, cioè circa 170x120 cm.

All'interno del piano è immersa una rete di sottili fili elettrici distanti un pollice o mezzo pollice.

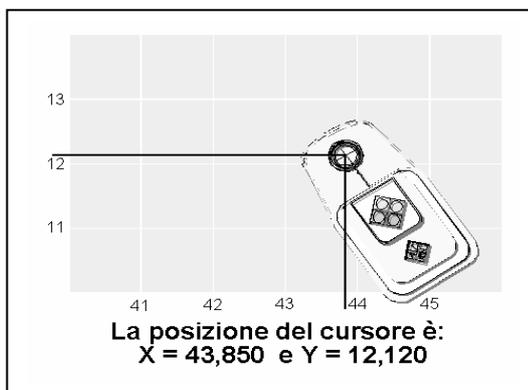


Un apposito cursore (o keypad) dotato di un sistema di puntamento, quando è appoggiato sul tavolo, è in grado di interagire elettricamente con la rete di fili immersa nel tavolo, in modo da risalire alla posizione del sistema di puntamento del keypad sul tavolo.

La risoluzione è in genere elevata (tipicamente un millesimo di pollice uguale ad un quarto di decimo di millimetro) ben superiore alle capacità di puntamento di un operatore.

Il cursore è formato dal sistema di puntamento e da un piccolo tastierino con alcuni tasti (da un minimo di 2 a un massimo di 16).

Nella condizione di funzionamento tipico, sopra il tavolo è appoggiata, ben stesa, una carta dove sono disegnati gli oggetti da acquisire; l'operatore appoggia il cursore sulla carta, traguardando un punto di cui si vogliono acquisire le coordinate; quindi preme uno dei tasti del tastierino e in quell'istante il tavolo digitalizzatore fornisce, all'elaboratore cui è collegato, il valore delle coordinate del punto e un codice associato al tasto premuto. Quando un oggetto è formato da più punti (p.e. una linea), l'operatore acquisisce una serie di punti in sequenza, specificando, tramite i tasti del tastierino, quando si tratta di un punto iniziale o intermedio o finale. Sarà poi compito del Software che gestisce l'acquisizione riassembleare l'insieme dei punti in un'unica entità. E' importante ricordare che le coordinate fornite dal tavolo digitalizzatore sono le coordinate proprie del tavolo (coordinate strumentali) e non hanno niente a che vedere con alcun sistema di coordinate geografiche.



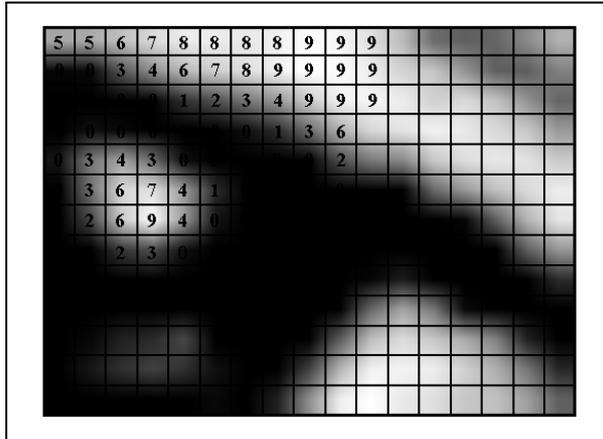
Data la semplicità costruttiva, queste apparecchiature hanno una vita media elevata: gli inconvenienti che possono capitare sono l'interruzione di qualcuno dei fili all'interno del piano e, più spesso, la rottura del cursore per urti meccanici.

Quasi tutti i tavoli digitalizzatori hanno anche un altro modo di funzionamento, in base al quale il tavolo fornisce all'elaboratore cui è collegato le coordinate rilevate in modo continuo, senza cioè attendere alcun consenso da parte dell'operatore sul tastierino; questo modo di funzionamento è detto "in continuo" o *stream mode* per distinguerlo dall'altro detto "per punti" o *point mode*. Esistono altri criteri intermedi di funzionamento, ma, per quanto riguarda i nostri scopi, faremo riferimento d'ora in poi alla tecnica *point mode*.

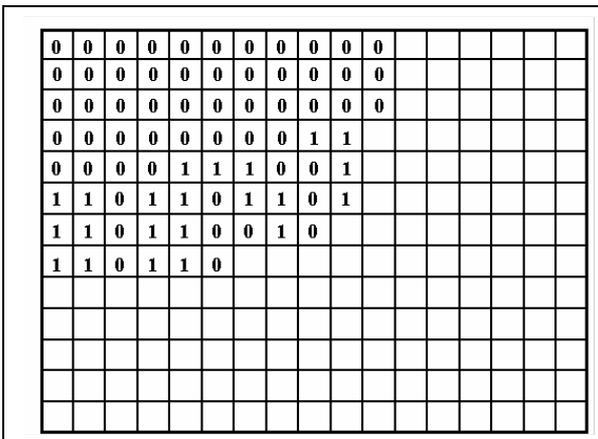
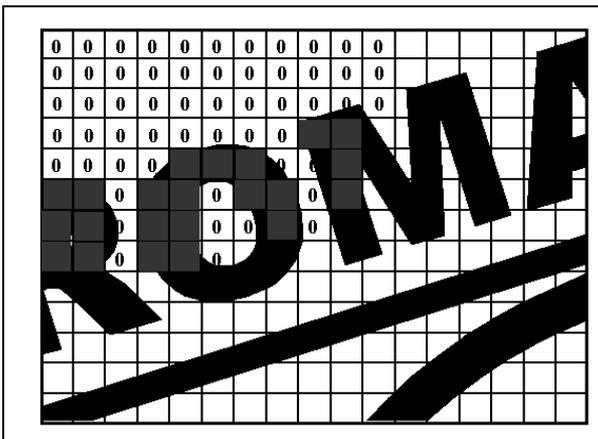
10.2 - Lo scanner

Uno scanner è uno strumento in grado di trasformare un'informazione disponibile su supporto piano in una matrice di pixel.

L'immagine viene concettualmente suddivisa in un insieme di elementi quadrati (picture element o pixel) e a ciascuno di essi viene associato un numero che esprime il valore di riflettanza (o in alcuni casi di trasparenza) dello stesso pixel. L'immagine è così trasformata in un insieme di numeri che possono essere memorizzati, elaborati, trasmessi e ricomposti su un video in modo da ricreare, per un operatore, un'immagine molto simile all'originale.



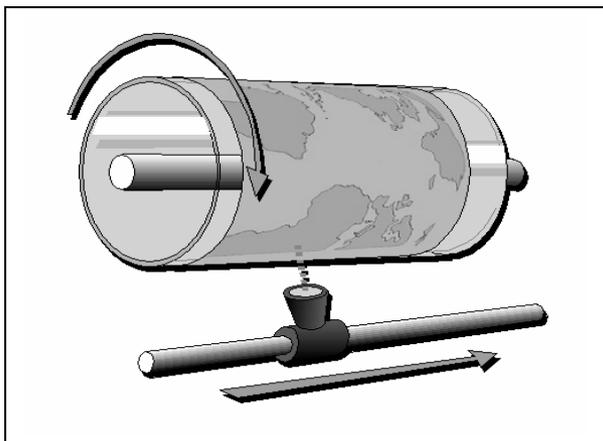
Un elemento tecnico caratteristico di uno scanner è la risoluzione, cioè la dimensione del pixel usata per suddividere l'immagine; le apparecchiature più comuni operano con risoluzioni da 75 a 600 ppi (punti per pollice) corrispondenti a circa 3 e 24 punti per mm. Le dimensioni delle immagini che possono essere acquisite vanno dal formato A4 al formato A0.



Un altro elemento caratteristico è la capacità di uno scanner di acquisire un'immagine in bianco e nero o a colori; nel secondo caso vengono formate tre immagini, una per ciascuno dei tre colori Rosso/Verde/Blu. In genere il valore associato ad un pixel (sia in bianco e nero che a colori) viene codificato con 8 bit, e può dunque assumere valori da 0 a 255. Alcuni sensori utilizzano un numero più elevato di bit, permettendo così risoluzioni cromatiche più spinte.

Alcune immagini rasterizzate utilizzano soltanto due valori per codificare i colori. Si tratta di immagini dove l'informazione non ha bisogno di una modulazione del colore, ma piuttosto di identificare dove è presente o meno un certo colore. Il caso tipico è quello della scrittura, che utilizza solo il colore nero su uno sfondo bianco, riducendo così il problema al trattamento di due soli colori.

Gli scanner, nel loro processo di analisi di un'immagine, utilizzano un movimento combinato di parti ottiche e meccaniche.



Nel caso dello scanner detto "a tamburo" la parte ottica acquisisce l'energia proveniente, per riflessione o per trasparenza, da un certo specifico punto della carta che è avvolta intorno ad un cilindro. Se il tamburo ruota, durante una sua rotazione completa il sensore acquisirà valori corrispondenti ad una "riga" dell'immagine.

Se immaginiamo che, dopo che il tamburo ha compiuto un giro, il sensore ottico si muova lungo la barra di una piccola quantità, vediamo che lo stesso sensore è pronto ad acquisire, al prossimo giro del tamburo, una nuova riga di informazione adiacente alla precedente. Questa combinazione di righe non è niente altro che il modello a griglia.

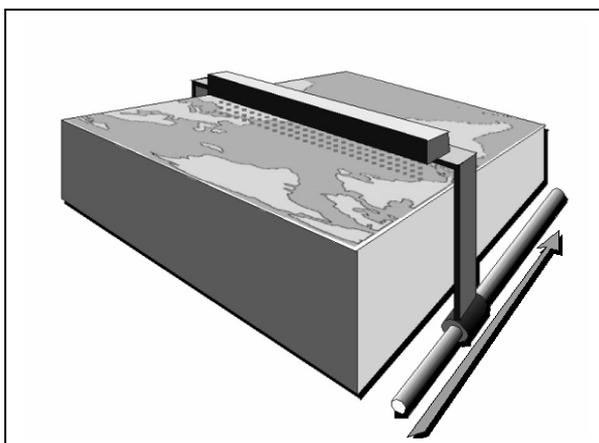
Un altro tipo di scanner è quello noto come scanner piano. La parte ottica è formata non da uno, ma da una serie di sensori, allineati lungo una barra e tenuti sopra un piano sul quale si pone il supporto cartaceo con l'immagine da acquisire.

In un certo istante la barra è in grado di acquisire un insieme di valori corrispondenti a pixel appoggiati su una linea; se la barra coi sensori copre tutta l'immagine, quello che si acquisisce è una riga dell'immagine raster che descrive tutta l'immagine. L'informazione acquisita equivale a quello che nel caso dello scanner a tamburo veniva acquisito in una rotazione completa del tamburo.

Se la barra si muove di una piccola quantità nella direzione trasversale alla sua lunghezza, essa si trova nella posizione necessaria per acquisire una nuova riga, adiacente alla precedente, riportandoci così al meccanismo del caso precedente.

In alcuni casi invece di avere il movimento della barra coi sensori sopra l'immagine, si ha il movimento del supporto cartaceo sotto la barra; questo è ovviamente comodo nei casi in cui si rasterizzano fogli di grandi dimensioni.

Poiché nello scanner piano una riga di dati è acquisita praticamente nello stesso istante, la velocità di acquisizione è superiore a quella dello scanner a tamburo.



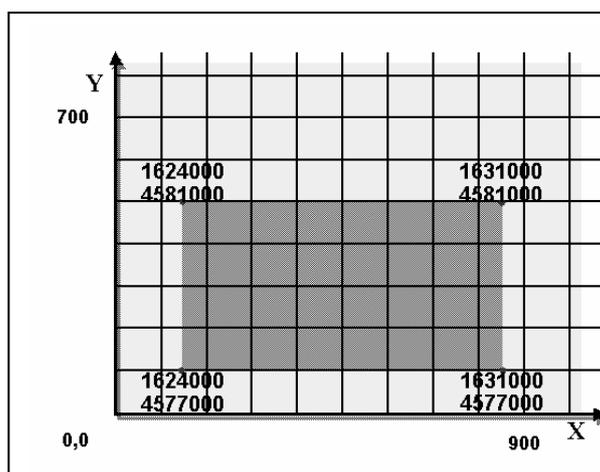
Durante il processo di acquisizione da uno scanner, l'immagine raster che si crea può essere di dimensioni notevoli, in termini di occupazione di memoria di un elaboratore. Un'immagine di 10*20 cm, una cartolina, trattata alla risoluzione di 150 ppi, crea oltre 700000 pixel, e poiché ad ogni pixel (in bianco e nero) si associa normalmente un byte, si ottengono circa 700kbyte, l'equivalente di mezzo floppy disk. Ma un'immagine A4 (circa 20*28 cm) alla risoluzione di 300 ppi e a colori occupa già un'area di memoria di 24 Mbyte e un'immagine A0 acquisita nello stesso modo occupa oltre 400 Mbyte, l'equivalente di un CD. A queste formidabili richieste di memoria di massa risponde la tecnologia sia con la disponibilità di supporti sempre più capaci, sia con la messa a punto di algoritmi di compressione estremamente efficienti.

10.3 - Coordinate strumentali e coordinate reali

Un tavolo digitalizzatore, così come qualunque strumento di acquisizione, restituisce in genere coppie di coordinate strumentali, relative cioè ad un sistema di riferimento proprio del tavolo stesso; tuttavia quando i dati geografici saranno inseriti nel DataBase geografico essi dovranno essere associati alle coordinate calcolate in un sistema di riferimento geografico, o come si dice comunemente dovranno essere dotati di “coordinate reali”.

Supponiamo di aver appoggiato in modo stabile sul tavolo digitalizzatore un foglio di mappa. Il tavolo digitalizzatore possiede un suo sistema di coordinate strumentali e la carta, da parte sua, è inquadrata in un sistema di coordinate reali.

Supponiamo anche che il foglio della carta riporti i valori delle coordinate (ovviamente reali) dei quattro vertici in coordinate metriche. Appoggiando il cursore su uno dei quattro vertici della carta (p.e. quello a Sud Ovest, con coordinate reali 1624000 e 4577000) si può acquisire un punto di cui si conoscono le coordinate strumentali ottenute dal tavolo digitalizzatore (nel nostro caso 150 e 100). Deve esistere pertanto una corrispondenza tra i due valori



Consideriamo anche il punto a Sud Est della carta, e osserviamo che esso ha coordinate 850/100 (nel mondo strumentale) e 1631000/4577000 (nel mondo reale).

Id. punto	Coordinate strumentali		Coordinate reali	
	Coord. Est	Coord. Nord	Coord. Est	Coord. Nord
Sud Ovest	150	100	1624000	4577000
Sud Est	850	100	1631000	4577000

Analizzando la tabella che riporta le coppie di coordinate dei due punti, si nota che lungo l’asse delle Y non vi è alcuna variazione delle coordinate strumentali e neanche di quelle reali, mentre, lungo l’asse delle X, ad una variazione di 7 km nel mondo reale corrisponde una variazione di 700 unità strumentali.

Poiché sia il sistema di riferimento del tavolo digitalizzatore che quello della carta sono lineari, possiamo dire che ad ogni unità strumentale corrispondono 10 m nel sistema di coordinate reali, ottenuti considerando che 7000 m nel mondo reale corrispondono a 700 unità in quello strumentale. Se è così possiamo cercare di convertire coordinate strumentali in coordinate reali con un semplice processo di interpolazione.

Chiamiamo con X_{pi}, Y_{pi} le coordinate reali di un generico punto e con x_{pi}, y_{pi} le coordinate strumentali dello stesso punto (in particolare saranno X_{vi}, Y_{vi} e x_{vi}, y_{vi} le coordinate reali e strumentali di uno qualunque dei quattro vertici della carta). Sulla base di quanto detto finora possiamo dire che il passaggio da coordinate strumentali a coordinate reali è basato sulla seguente coppia di equazioni:

$$\begin{aligned} X_{pi} &= a \cdot x_{pi} + c \\ Y_{pi} &= e \cdot y_{pi} + f \end{aligned}$$

dove “a”, “e”, “c” e “f” sono delle costanti da definire.

Poiché queste equazioni devono valere in tutti i punti, e quindi anche in quelli della tabella precedente, sostituendo i valori delle coordinate dei punti noti nella prima delle due formule si ha, per la coordinata Est,

$$\begin{aligned} 1624000 &= a \cdot 150 + c \\ 1631000 &= a \cdot 850 + c \end{aligned}$$

da cui si ricava che

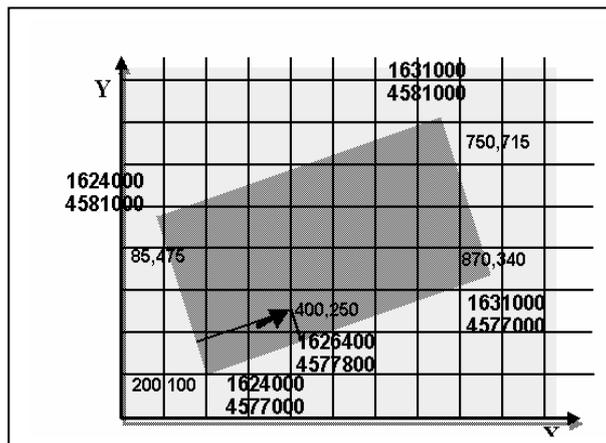
$$a = 10 ; c = 1622500$$

Il parametro “a” esprime il valore della scala (quante unità di coordinate reali corrispondono ad una unità strumentale) e “c” indica la coordinata che assume la carta nel punto in cui la coordinata strumentale è 0, cioè all’inizio del tavolo.

La situazione che abbiamo discusso è un caso particolare che si rileva nel fatto che i due punti analizzati, lungo l’asse delle Y, non hanno alcuna variazione delle coordinate strumentali e neanche di quelle reali; questo è dovuto ad una situazione improbabile di esatto allineamento dei due sistemi di riferimento, quello strumentale e quello reale.

In generale, anche se la carta viene posizionata col Nord verso l’alto, non vi sarà mai esatto allineamento tra il sistema di riferimento del tavolo e quello della carta, per cui due punti che rispetto al tavolo sono sulla stessa linea orizzontale (hanno cioè la stessa Y strumentale) non avranno la stessa Y reale. La situazione è assolutamente normale, ma ci richiede di utilizzare, per la trasformazione da coordinate strumentali a coordinate reali, due equazioni del tipo:

$$\begin{aligned} X_{pi} &= a \cdot x_{pi} + b \cdot y_{pi} + c \\ Y_{pi} &= d \cdot x_{pi} + e \cdot y_{pi} + f \end{aligned}$$



Dove stavolta le costanti da definire sono “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”.

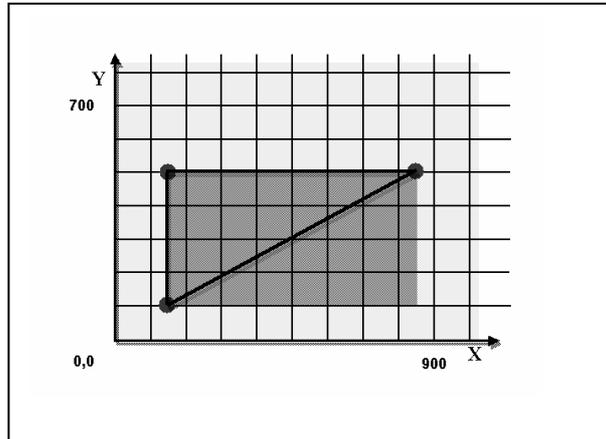
Per definire queste costanti non sono sufficienti due punti di controllo, come era nel caso precedente, ma ne servono tre. Supponiamo infatti di avere tre punti di controllo (V1, V2 e V3). Di questi punti conosciamo le coordinate strumentali (x,y minuscoli) e quelle reali (X,Y maiuscoli) e per questi punti devono valere le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} X_{v1} &= a \cdot x_{v1} + b \cdot y_{v1} + c \\ X_{v2} &= a \cdot x_{v2} + b \cdot y_{v2} + c \\ X_{v3} &= a \cdot x_{v3} + b \cdot y_{v3} + c \\ Y_{v1} &= d \cdot x_{v1} + e \cdot y_{v1} + f \\ Y_{v2} &= d \cdot x_{v2} + e \cdot y_{v2} + f \\ Y_{v3} &= d \cdot x_{v3} + e \cdot y_{v3} + f \end{aligned}$$

Si tratta di due sistemi ciascuno dei quali ha tre equazioni e tre incognite: a, b, c nel primo sistema; d, e, f nel secondo sistema. I valori delle coordinate, sia strumentali che reali, sono quelle dei punti di controllo e quindi sono note.

La soluzione di un sistema di tre equazioni in tre incognite dà, salvo casi particolari, soluzioni esatte per le incognite. Tuttavia questo metodo presenta due forti inconvenienti:

- il fatto di avere “soluzioni esatte” non ci dà alcuno strumento per sapere se abbiamo fatto qualche errore e di che dimensione;
- la scelta di tre punti di controllo divide la carta in due zone: quella interna al triangolo formato dai tre punti e quella (una o più) esterna a tale triangolo. L’esperienza insegna che, se esiste un errore, anche piccolo, esso in genere tende a crescere fuori dal triangolo molto più di quanto non sia all’interno.



E’ abbastanza intuitivo che sarebbe opportuno, se non altro per motivi di simmetria, utilizzare come punti di controllo i quattro estremi della carta, anche in considerazione del fatto che le loro coordinate sono uno dei parametri fondamentali della carta stessa e compaiono scritti con precisione nella legenda.

Scegliendo come punti di controllo i quattro estremi della carta si ha innanzitutto una simmetria, rispetto alla carta, dell’informazione usata per trattarla, ma si raggiunge anche un importante risultato analitico.

Il problema è quello della determinazione delle costanti a, b, c, d, e, f utilizzando quattro punti di controllo. All’inizio conosciamo unicamente la corrispondenza tra le coordinate strumentali e quelle reali dei quattro vertici della carta; anche per essi deve valere la relazione precedente, per cui valgono le otto equazioni che seguono, dove le incognite sono **a, b, c, d, e, f**.

$$X_{v1} = a x_{v1} + b y_{v1} + c$$

$$X_{v2} = a x_{v2} + b y_{v2} + c$$

$$X_{v3} = a x_{v3} + b y_{v3} + c$$

$$X_{v4} = a x_{v4} + b y_{v4} + c$$

$$Y_{v1} = d x_{v1} + e y_{v1} + f$$

$$Y_{v2} = d x_{v2} + e y_{v2} + f$$

$$Y_{v3} = d x_{v3} + e y_{v3} + f$$

$$Y_{v4} = d x_{v4} + e y_{v4} + f$$

Limitandoci al caso della X (e quindi con incognite **a, b, c**), vediamo che si tratta di un sistema di quattro equazioni con tre incognite. Supponiamo per un momento di conoscere a, b, c; se usiamo la formula di trasformazione

$$a x_{v1} + b y_{v1} + c = X_{v1}^c$$

otteniamo per la X un valore calcolato X_{v1}^c che in genere sarà diverso da quello misurato X_{v1} .

La differenza tra X_{vi}^c e X_{vi} rappresenta lo scarto tra le coordinate reali del primo vertice e le coordinate reali dello stesso vertice calcolate a partire dalle coordinate strumentali e applicando la trasformazione. I valori di **a**, **b** e **c** saranno tanto migliori quanti più piccola sarà tale differenza, se possibile, ma avviene assai raramente, anche zero.

Ciò che dobbiamo fare è quindi cercare dei valori per a, b, c tali da rendere minimo possibile

$$Z = \sum_{i=1,n} (X_{vi}^c - X_{vi})^2$$

cioè

$$Z = \sum_{i=1,n} (a x_{vi} + b y_{vi} + c - X_{vi})^2$$

dove n è il numero dei vertici noti, in genere 4. Il valore di n deve essere 4 o maggiore; se il valore è 3 abbiamo un sistema di tre equazioni in tre incognite che ci dà una soluzione esatta (Z diventa 0).

Il fatto che le differenze $(X_{vi}^c - X_{vi})$ per i quattro vertici assumano valori molto piccoli è un indice positivo, in quanto possiamo ragionevolmente aspettarci che per ogni punto interno al foglio le coordinate reali calcolate con la trasformazione siano molto vicine a quelle effettive. Se invece tali differenze sono grandi (maggiori di 3-5 mm reali sul tavolo digitalizzatore) occorre rivedere il processo che ha portato alla definizione dei coefficienti della trasformazione.

La procedura descritta permette di definire i coefficienti a, b, c, d, e, f della trasformazione; in pratica si opera nel modo seguente: una volta stesa e fissata la carta da digitalizzare sul tavolo si acquisiscono le coordinate strumentali di un vertice o di un altro punto di controllo operando col cursore del digitalizzatore e immediatamente dopo si scrivono, a tastiera, le coordinate reali dello stesso punto leggendole dalla carta. Si ripetono queste azioni per tutti i punti di controllo che si intende usare (almeno 4, ma anche di più); queste operazioni sono guidate da un SW che in questa fase memorizza coppie di coordinate. Quindi si comanda al SW di calcolare i coefficienti della trasformazione col metodo descritto; il SW esegue l'operazione e fornisce indicazioni sull'errore della trasformazione. Se l'errore è piccolo la trasformazione viene accettata, se è grande occorre ripetere alcuni passi. Una volta che la trasformazione è accettata e i sei coefficienti sono definiti, il SW è in grado di trasformare, secondo le equazioni descritte, una coppia di coordinate strumentali in una coppia di coordinate reali.

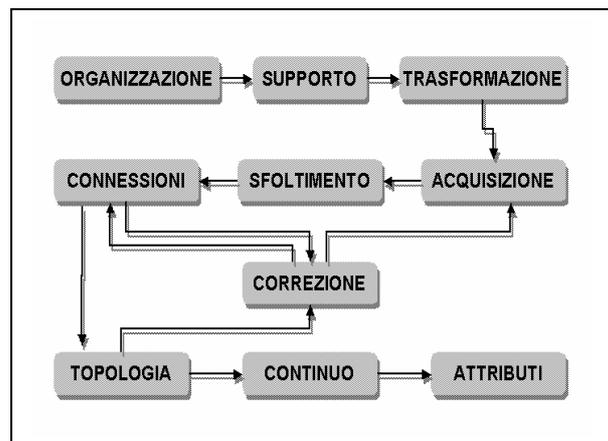
10.4 - Il processo di acquisizione

Il processo di digitalizzazione tramite digitalizzatore è composto da una serie di passi. L'ordine in cui proponiamo i vari passi è concettuale, e in funzione dello specifico software o del modo di organizzare il lavoro è possibile che l'ordine sia modificato o che alcuni passi siano fusi tra di loro.

- L'attività inizia con l'organizzazione del lavoro, cioè la definizione della sequenza delle operazioni, la messa a punto del SW di acquisizione per lo specifico lavoro e altre azioni di questo tipo.
- Segue la preparazione del supporto; in certi casi è possibile digitalizzare direttamente dalla carta, ma molto spesso occorre "rilucidare" la carta, cioè ridisegnarla su un altro supporto, riportando solo gli elementi che si desidera acquisire. Questo permette di impoverire il documento di base e di poter quindi lavorare più facilmente.
- Si definisce quindi la trasformazione che permetterà di convertire coordinate strumentali in coordinate reali; questo processo è stato descritto nel paragrafo precedente.
- Può iniziare a questo punto il processo di acquisizione vera e propria: l'operatore acquisisce elementi areali, lineari e puntuali che vengono inseriti all'interno del Sistema; l'operatore può acquisire anche dati descrittivi, oppure questi possono essere acquisiti in una fase successiva e collegati agli elementi grafici.

Il dato così ottenuto è ben lontano dall'essere utilizzabile; esso ha bisogno ancora di una serie di interventi.

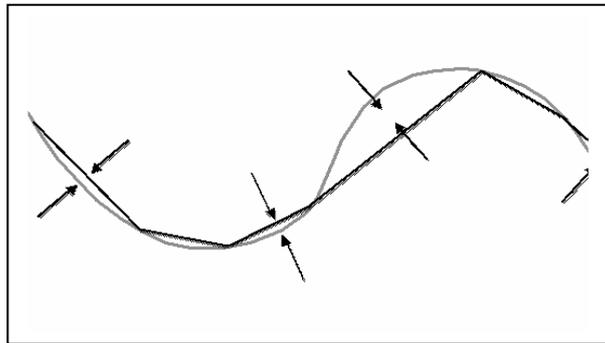
- Il primo intervento consiste nell'eliminare la ridondanza geometrica.
- Occorre a questo punto creare i presupposti per la costruzione di una struttura topologica. Pertanto se abbiamo archi convergenti in un punto coi vertici non esattamente coincidenti, dobbiamo intervenire con un software in modo che i vertici di archi che ricadono entro una certa tolleranza siano numericamente identici.
- Siamo adesso nelle condizione di creare una topologia. Anche in questo caso un apposito software, spesso integrato con quello del passo precedente, costruisce la sovrastruttura necessaria, in genere tipica dello stesso software.
- Se, come accade spesso, si sono acquisiti dati da diversi fogli di una carta, abbiamo diversi archivi, uno per ogni foglio, ciascuno topologicamente corretto, ma staccato dagli altri; in genere è necessario fare il "collage" di tali archivi in modo da ottenere un unico archivio che copra con continuità lo spazio trattato. Tale operazione richiede di risolvere, ai bordi dei fogli, problemi di coerenza che sono molto simili a quelli affrontati nei blocchi "connessione" e "topologia".
- Infine ai dati geometrici, se non lo si è fatto precedentemente, occorre agganciare i dati descrittivi.



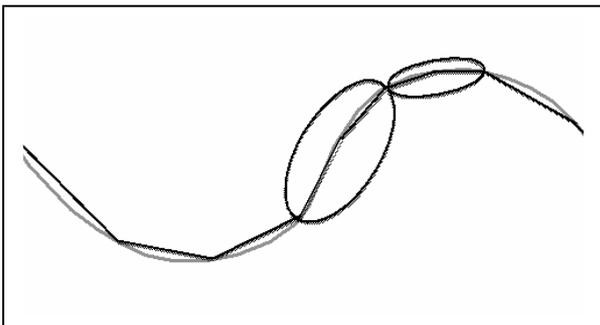
Occorre considerare anche una fase di "correzione", dovuta al fatto che errori o mancanze rilevati durante la "connessione" e la "topologia" costringono a tornare a fasi precedenti del lavoro.

10.5 - Lo sfoltimento

Una linea curva è modellata, all'interno di un sistema GIS, come una sequenza di segmenti; questo causa un certo errore consistente nella freccia che si genera tra la curva originale e la corda (o segmento). Quando il raggio di curvatura è piccolo, i segmenti sono necessariamente piccoli e questo presuppone che l'operatore, nella fase di digitalizzazione, acquisisca punti abbastanza vicini tra di loro.



Se questo non viene fatto, può capitare che, a causa di due punti lontani tra di loro, la corda (o segmento) e la curva di origine creino una freccia troppo grande rispetto alle specifiche del lavoro. La correzione di questo errore non può essere che una nuova digitalizzazione.



Per questo motivo l'operatore, nella digitalizzazione di una linea o del perimetro di un'area, acquisisce in genere un numero di punti superiore a quanto necessario.

Questo è quindi un criterio prudenziale che garantisce la qualità geometrica del prodotto finale; esso causa un lieve sovraccarico nella fase di acquisizione, danno estremamente inferiore a quello che accadrebbe se si dovesse ridigitalizzare una parte della carta.

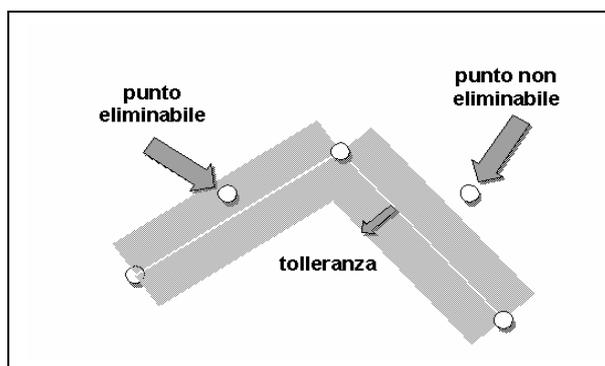
Tuttavia questo criterio di lavoro causa ridondanza, ma questa può essere facilmente

eliminata tramite calcolo.

I punti ridondanti si identificano per calcolo con un criterio intuibile graficamente.

Si consideri un segmento definito da una coppia di punti; la freccia di errore definita precedentemente, che possiamo anche chiamare tolleranza, può essere rappresentata graficamente come un'area rettangolare di cui il segmento è l'asse. Un ulteriore punto, digitalizzato a partire dalla curva originale, che giace entro la fascia è considerato un punto eliminabile, mentre non lo è se giace fuori dalla fascia.

Questo algoritmo è noto come algoritmo del tunnel o "tunneling"



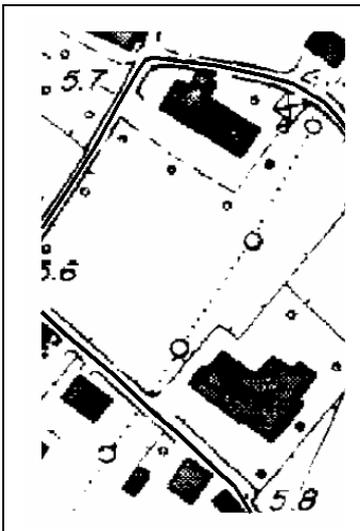
10.6 - Acquisizione a video

L'acquisizione di dati vettoriali da video è uno strumento generale di acquisizione, ma in particolar modo uno strumento di aggiornamento.

Questo tipo di acquisizione gestisce, come documenti di ingresso, foto aeree, immagini telerilevate da satellite e immagini cartografiche. In certi casi i dati di origine sono già in forma numerica (quando è stato usato uno scanner per l'acquisizione come avviene in generale da satellite e in certi casi anche da aereo); negli altri casi (foto aeree e cartografia disegnata) le immagini devono essere rasterizzate. In ogni caso le immagini rasterizzate devono essere georeferenziate. L'acquisizione a video tramite immagini rasterizzate georeferenziate permette di acquisire direttamente elementi vettoriali puntuali, lineari e areali.



L'operazione consiste nel visualizzare su monitor l'immagine rasterizzata e nel tracciare, con l'aiuto del mouse, i bordi di aree, linee o punti in corrispondenza degli oggetti che si intende acquisire. Poiché l'immagine è georeferenzziata, i dati vettoriali acquisiti saranno memorizzate con coordinate dello stesso sistema di riferimento dell'immagine.



L'acquisizione di elementi vettoriali da cartografia esistente è un procedimento relativamente semplice in quanto non richiede particolari competenze; in certi casi, tuttavia, la primitiva geometrica che viene acquisita non è una primitiva effettivamente disegnata sulla mappa, come ad esempio nel caso della mezzeria delle strade.

Quando si tratta di acquisire dati da una foto aerea o da un'immagine telerilevata da satellite, sono necessarie competenze specialistiche tipiche di un fotointerprete.

Gli strumenti software che gestiscono queste operazioni offrono in genere un buon supporto tecnologico all'operazione: gli strumenti di editing sono potenti, la presentazione dell'immagine può essere modificata giocando sui toni di grigio e, nel caso di immagini tricromatiche, anche sui colori. Se le immagini sono multispettrali, è possibile presentare immagini tricromatiche con diverse combinazioni di bande.

Esistono anche buoni supporti dal punto di vista topologico. Questi permettono di connettere dinamicamente i nodi di archi (operatore noto come "snap"), di creare entità geometriche perfettamente adiacenti per favorire la costruzione topologica, di costruire aree complesse formate da più aree elementari disgiunte o aree con buchi, spezzare dinamicamente archi che si intersecano, e così via.

10.8 - Confronto tra tecniche di acquisizione

In questo e nel capitolo precedente abbiamo analizzato tre tecniche di digitalizzazione:

- l'acquisizione manuale tramite tavolo digitalizzatore;
- l'acquisizione manuale a video;
- l'acquisizione tramite rasterizzazione.

Le prime due tecniche sono caratterizzate da una forte presenza dell'operatore che, grazie alle sue capacità, è in grado di scegliere in ogni istante l'azione più appropriata. Le prime due tecniche sono pertanto da preferirsi in tutti i casi in cui siano presenti ambiguità di qualunque tipo; una carta da digitalizzare di scarsa qualità grafica, con linee interrotte, con molti strati informativi, con la presenza di campiture creano ai processi automatici attuali più problemi di quanti questi riescano a risolverne.

Analogamente in tutti i casi in cui sono necessari processi interpretativi (p.e. l'identificazione della mezzeria delle strade o l'interpretazione di immagini) il fattore umano diventa decisivo e le tecniche automatiche sono sconsigliabili.

La terza tecnica, caratterizzata da automazioni più o meno spinte, è invece da preferirsi in tutti i casi in cui non esistono elementi decisionali in quanto il documento da cui si acquisisce informazione è pulito e non ambiguo. È questo il caso di carte con pochi strati informativi, senza campiture, con linee pulite.

In alcuni casi di particolare complessità, una carta può creare difficoltà anche ad una digitalizzazione manuale. In questo caso è possibile ridisegnare la carta, selezionando gli strati necessari, eliminando campiture e risolvendo ambiguità; il nuovo documento così ottenuto è evidentemente adatto ad un'acquisizione tramite rasterizzazione.

10.99 - Strumenti e tecniche di acquisizione – Autovalutazione

1. Come è costruito un tavolo digitalizzatore?
2. Qual è la risoluzione geometrica di un tavolo digitalizzatore?
3. A cosa serve il cursore?
4. A cosa servono i tastini numerici sul cursore?
5. Cosa sono le coordinate strumentali?
6. Qual è la relazione tra coordinate strumentali e coordinate reali?
7. Che tipo di formula si usa per trasformare le coordinate strumentali in coordinate reali?
8. Qual è il significato dei coefficienti della formula di trasformazione?
9. Perché si usa il criterio dei minimi quadrati per calcolare i coefficienti della formula?
10. Come è costruito uno scanner? Quanti tipi di tecnica costruttiva esistono?
11. Qual è la risoluzione geometrica di uno scanner?
12. Che tipo di dato produce uno scanner?
13. Elencare le varie fasi del processo di digitalizzazione tramite digitizer?
14. Elencare le varie fasi del processo di digitalizzazione di vettori tramite scanner?
15. Motivare ciascuna fase e cercare di capire perché è necessaria? (o cosa succederebbe se non ci fosse!)

11.1 - Tipi di funzioni

Il trattamento di dati geografici è quell'attività che permette di cercare dati all'interno di un database geografico, manipolarli, presentarli e/o trasformarli in nuovi dati tramite un processo elaborativo.

L'analisi geografica si esegue per mezzo di operazioni caratterizzate da un'estrema eterogeneità; questo è dovuto sostanzialmente a due motivi:

- la tecnologia GIS nasce dall'integrazione di discipline diverse (cartografia, informatica, statistica, geometria, insiemistica, ecc.) e ciascuna porta un contributo anche il termini algoritmici;
- la tecnologia GIS è caratterizzata da una forte operatività, per cui si passa da funzionalità assolutamente generali a funzionalità molto orientate ad una specifica applicazione.

Le operazioni di analisi geografica sono diverse nei vari software. Non esiste al momento una formalizzazione generale di tali operazioni, ma esistono iniziative per formalizzare le operazioni di query, come evoluzione delle query dei database tradizionali. Il linguaggio iconico, usato in modo sempre più massiccio, gioca invece un importante ruolo di standardizzazione dell'interfaccia verso l'utente.

Un modo per classificare le operazioni di analisi geografica è di dividerle in funzione del loro modo di trattare l'aspetto spaziale dell'informazione:

- **geometriche**: quelle che operano sul piano cartesiano;
 - **topologiche**: quelle che riguardano il rapporto spaziale tra oggetti;
 - **insiemistiche**: quelle che operano su elementi geografici con le operazioni tipiche degli insiemi;
 - **geografiche**: quelle che considerano tutte le conseguenze geometriche dovute alla curvatura terrestre.
- E' importante osservare come le quattro categorie citate siano molto integrate tra di loro; ad esempio le operazioni topologiche potrebbero essere eseguite nel contesto di quelle geometriche, e alcune operazioni insiemistiche sfruttano proprietà topologiche degli oggetti.

I software GIS mettono a disposizione dell'utente un insieme di comandi, attivabili tramite digitazione di una stringa di caratteri, menù a tendina, icone, ecc. I comandi in genere possono essere combinati in macrocomandi, richiamando così funzionalità complesse e assumendo un significato compiuto all'interno di uno specifico tema applicativo. I comandi disponibili comunque combinati sono in genere adatti a sviluppare applicazioni semplici e appartenenti a categorie predefinite.

Per migliorare le potenzialità dei software GIS, questi offrono spesso linguaggi di sviluppo che permettono non solo di richiamare i comandi di base, ma anche di gestire il flusso delle operazioni, di manipolare variabili locali, di accedere direttamente a dati memorizzati su disco, di richiamare programmi esterni. Quest'ultima possibilità è particolarmente importante, in quanto rende possibile l'integrazione delle funzionalità GIS di un sistema con modelli esterni, i quali in genere aggiungono notevole forza all'applicazione. Possiamo quindi dire che in genere una funzionalità è un insieme di comandi opportunamente collegati, col possibile concorso di modelli:

$$\text{Funzionalità} = \sum (\text{comandi}) \text{ [+ modelli]}$$

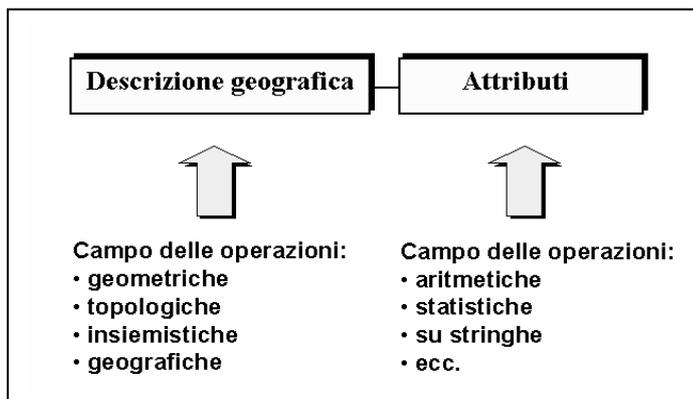
dove con funzionalità intendiamo un processo elaborativo (non necessariamente complesso) con un significato logico compiuto. Le funzionalità non sono quindi quelle di uno specifico software, ma riguardano le operazioni che normalmente si aspetta di avere a disposizione un operatore disciplinare che affronta un problema in un contesto GIS. Tali funzionalità saranno in genere implementate in modo anche considerevolmente diverso nei vari software; le prestazioni non saranno le stesse nei vari sistemi, a volte i risultati non saranno identici.

La visione di funzionalità caratterizzata da un significato logico compiuto ci permette di non scendere in dettaglio nella considerazione di microfunzionalità, inutili da un punto di vista concettuale e spesso legate ad un *ambiente*, come ad esempio le singole microfunzionalità legate all'ambiente di editing grafico. D'altra parte questo approccio può in certi casi dare la dignità di funzionalità a certe operazioni che hanno un significato logico compiuto, ma che sono casi particolari di funzionalità generali.

11.2 - La risposta delle funzioni

Come è noto il dato territoriale è formato da una parte geografica e da una descrittiva; le funzionalità possono riguardare solo la parte descrittiva, solo la parte geografica o entrambe. Quest'ultimo è ovviamente il caso in cui le potenzialità dei sistemi GIS si esprimono nel modo migliore.

Occorre notare che alcune operazioni che sono tipicamente geografiche vengono eseguite operando sulla parte descrittiva del dato. Ciò è dovuto al fatto che spesso informazioni geografiche sono trasformate, in una fase iniziale, in un attributo e successivamente le operazioni che si eseguono operano su quell'attributo; per esempio la lunghezza di un segmento è spesso calcolata nella fase di data entry e ogni successiva richiesta di conoscere la lunghezza del segmento non innesca nuovamente l'algoritmo di calcolo della lunghezza, ma semplicemente fornisce il valore già disponibile. Un altro caso è quello in cui l'informazione geografica è espressa direttamente tramite un attributo e molte richieste, anche tipicamente geografiche, possono essere soddisfatte operando solo su tale attributo. Un esempio è quello dove la localizzazione di un certo oggetto avviene tramite l'indicazione *Via e Numero Civico*; la richiesta di conoscere tutti gli oggetti che sono presenti nella stessa *Via* può essere soddisfatta senza eseguire operazioni sulle coordinate geografiche.



Quando si attiva una funzionalità GIS il risultato può essere di vario tipo. I casi più comuni sono:

- interazione: la risposta alla funzionalità chiamata consiste nel fatto che uno o più oggetti vengono evidenziati su schermo;
- uno (o più) oggetti: la funzionalità richiamata fornisce uno o più oggetti all'interno di uno strato informativo;
- uno strato informativo: in questo caso viene creato uno strato informativo completo;
- una catena: la funzionalità richiamata restituisce un insieme di puntatori che collegano in modo ordinato un gruppo di oggetti;
- un valore: la funzionalità richiamata fornisce un numero che può essere il valore di un attributo (in questo caso il risultato può essere anche un valore alfanumerico), il risultato di un'elaborazione statistica di attributi (valore medio, valore massimo, conteggio, ecc.), il risultato di un'elaborazione geografica o più semplicemente geometrica (distanza tra due punti, visibilità tra due punti, ecc.);
- un valore binario (tipo SI/NO), che può essere considerato come un valore numerico del caso precedente cui viene imposta una condizione.

Il risultato di una elaborazione è una quantità che in genere viene usata per elaborazioni successive e pertanto deve essere riutilizzabile; ciò può essere ottenuto tramite risorse messe a disposizione dal software utilizzato o in altri casi tramite l'operatore (per esempio la memoria visiva nel caso dell'interazione).

Volendo distinguere il momento dell'interazione da quello di un'elaborazione non controllata da un operatore, potremmo chiamare analisi le funzionalità la cui risposta viene fruita tramite un'interazione ed elaborazione quelle che producono nuovi dati. Questa suddivisione è comunque arbitraria.

12.1 - La selezione

L'operazione di selezione permette di estrarre dal data base geografico uno o più oggetti e di evidenziarli o memorizzarli in una memoria intermedia per successive elaborazioni.

L'operazione di selezione non è di per sé un processo elaborativo, ma lo è la tecnica con cui gli oggetti vengono selezionati.

Possiamo distinguere diversi tipi di Selezione, a seconda della tecnica utilizzata e dell'informazione utilizzata:

- Selezione tramite puntamento
- Selezione tramite condizione sugli attributi
- Selezione tramite condizione geografica
- Selezione tramite condizione mista

La selezione tramite condizione geografica, inoltre, può essere divisa in due sottocasi; quello in cui sono in gioco dati appartenenti allo stesso strato informativo e quello in cui si utilizzano dati di strati informativi diversi.

12.2 - Selezione tramite puntamento

La selezione tramite puntamento avviene tramite un meccanismo di interazione tra l'operatore e il sistema; l'operatore può identificare un oggetto tramite un cursore su video grafico, o definire un'area all'interno della quale il sistema deve identificare gli oggetti presenti. Il sistema risponde modificando su video il colore dell'oggetto selezionato o presentando l'oggetto in modo intermittente (*blinking*) o con altri criteri di interazione grafica. In funzione dell'applicazione il sistema, una volta identificato l'oggetto, può restituire il valore degli attributi.

La funzionalità non richiede particolari commenti se non alcune osservazioni di efficienza. Software diversi, in funzione di scelte tecniche e/o del grado di sofisticazione,

- richiedono che (o hanno prestazioni migliori nel caso in cui) l'operatore identifichi un punto con caratteristiche particolari; per esempio nel caso di un'area un punto vicino al bordo o ancora vicino ad un vertice.
 - riconoscono gli oggetti quando l'operatore identifica col cursore un punto qualunque caratteristico dell'oggetto, tipicamente per un'area un punto interno all'area;
 - riconoscono gli oggetti quando l'operatore identifica col cursore un punto in vicinanza dell'oggetto
- I diversi modi di comportamento dipendono anche dal tipo di primitiva che si cerca di identificare.

Un'ulteriore osservazione riguarda il caso della presenza su video di più strati informativi sovrapposti: in tal caso esistono casi di ambiguità (per esempio un punto identificato tramite cursore può riferirsi a due aree di due diversi strati informativi e a un segmento di un terzo strato). E' evidente che occorre risolvere l'ambiguità, in genere dichiarando attivo uno degli strati informativi presenti e considerando gli altri come sfondo non attivo per operazioni di selezione.

Un'operazione particolare di puntamento può riguardare uno strato di simboli disegnati sopra una serie di strati informativi. I simboli georeferenziati possono essere gli identificatori di beni o oggetti significativi presenti sul territorio e il tipo di bene può essere identificato tramite un'appropriata simbologia. Una funzionalità di tipo multimediale può permettere, con un click sul simbolo, di evidenziare una foto o una descrizione del bene.

12.3 - Selezione con condizione alfanumerica

La selezione con condizione alfanumerica o selezione con condizione sugli attributi avviene tramite la definizione, da parte dell'operatore, di una serie di condizioni cui devono soddisfare gli oggetti da selezionare. Il sistema legge la condizione richiesta, la valida da un punto di vista sintattico e la esegue. Gli oggetti selezionati sono evidenziati o resi disponibili per successive elaborazioni.

La selezione tramite condizione sugli attributi è identica, dal punto di vista elaborativo, alle selezioni tipiche dei normali DBMS. La condizione è verificata su ciascun oggetto e quelli per cui il risultato è positivo vengono selezionati.

In modo molto generale l'operazione si schematizza con

Seleziona nello strato XX tutti gli oggetti per cui (Condizione)

Dove “*Condizione*” è il risultato booleano di un'operazione, che può quindi assumere soltanto i valori “vero” o “falso”.

Una tipica sintassi del comando, nel caso di condizione su un solo attributo numerico, è

Seleziona nello strato XX tutti gli oggetti per cui ATT OP VAL

dove

XX identifica lo strato informativo ove operare, necessario nel caso della presenza contemporanea di più strati informativi;

ATT è il nome simbolico dell'attributo sotto condizione;

OP è un normale operatore aritmetico (maggiore, minore, uguale, diverso);

VAL è il valore numerico di riferimento.

Nel caso in cui l'attributo sia di tipo carattere avremo una sintassi identica alla precedente, dove però ATT identificherà un attributo non numerico, VAL sarà una stringa di riferimento e OP sarà un operatore attivo su stringhe (uguale, diverso, seguente, precedente, è sottostringa di, è sovrastringa di).

Supponiamo di operare su uno strato informativo che identifica i collegi elettorali; gli attributi di ciascun oggetto appartenente allo strato sono:

NUM numero del collegio;

NOME nome del collegio;

NL1/96 numero di voti ottenuti dalla lista 1 nelle elezioni del 1996;

NL2/96 numero di voti ottenuti dalla lista 2 nelle elezioni del 1996;

EL96 cognome del candidato eletto nelle elezioni del 1996;

NL1/92 numero di voti ottenuti dalla lista 1 nelle elezioni del 1992;

NL2/92 numero di voti ottenuti dalla lista 2 nelle elezioni del 1992;

EL92 cognome del candidato eletto nelle elezioni del 1992.

Un esempio della tabella degli attributi sia il seguente:

id	NOME	NL1/96	NL2/96	EL96	NL1/92	NL2/92	EL92
1	Capraia	18730	17700	Montoni	20120	16007	Montoni
2	Pianosa	13450	12756	Catena	14555	11501	Catena
3	Montecristo	18555	6987	Tesorino	13090	12452	Conti
4	Procida	14500	20450	Basso	12890	22345	Lino
5	Stromboli	20331	17202	Lapillo	18432	19101	Calore
6	Lampedusa	10001	13467	Mustafa	11352	12116	Mustafa
7	Tremiti	24678	24998	Budini	19878	29576	Malaria
8	Burano	10889	11089	Stabile	10004	12339	Stabile

Operazioni tipiche di selezione saranno

Seleziona nello strato ‘Collegi’ tutti gli oggetti per cui NL1/96 > 18000

per identificare tutti i collegi dove la Lista 1 ha avuto nelle elezioni 1996 più di 18000, oppure

Selezione nello strato 'Collegi' tutti gli oggetti per cui EL92 = Conti

per identificare il collegio dove è stato eletto, nelle elezioni 1992, il candidato 'Conti'.

Una semplice estensione di questo tipo di selezione è quella che può combinare più attributi con più operatori. Riportiamo alcuni esempi più significativi dei precedenti.

Selezione nello strato 'Collegi' tutti gli oggetti per cui EL92 = EL96

per identificare i collegi in cui è stato confermato il candidato dell'elezione precedente;

Selezione nello strato 'Collegi' tutti gli oggetti per cui NL1/96+NL2/96 < NI1/92+NI2/92

per identificare i collegi dove è calato il numero dei votanti.

Ciascuna condizione, applicata ad ogni oggetto, si traduce in ultima analisi in un risultato del tipo SI/NO. Tale risultato può essere combinato coi risultati di altre condizioni, combinando così condizioni diverse.

***Selezione nello strato 'Collegi' tutti gli oggetti per cui (NL1/96 > NL2/96) AND
((NL1/96-NL2/96)/(NL1/96+NL2/96)) > ((NL1/92-NL2/92)/(NL1/92+NL2/92))***

per identificare i collegi in cui la lista 1 ha migliorato la propria posizione (già vincente) rispetto alle elezioni precedenti;

***Selezione nello strato 'Collegi' tutti gli oggetti per cui (EL92 <> EL96) AND
((NL1/96-NL2/96) * (NL1/92-NL2/92)) > 0***

per identificare i collegi in cui una qualunque lista ha vinto nelle due elezioni nonostante il cambio di candidato;

Possiamo dire che in generale la selezione può essere effettuata combinando in ogni modo gli attributi con qualunque tipo di operatore, e successivamente combinando con operatori booleani i risultati delle precedenti selezioni. Le potenzialità di questo tipo di selezione sono notevoli e l'utilizzo di operatori più o meno sofisticati dipende dal software utilizzato.

12.4 - Selezione con condizione geografica 1 (stesso strato)

La selezione di oggetti tramite condizione geografica presuppone che si operi soltanto sulla componente geografica del dato con le operazioni geometriche, topologiche, insiemistiche e geografiche. Questo tipo di selezione presenta un numero notevole di casi interessanti che occorre classificare. Trattiamo solo il caso vettoriale (oggetti rappresentati tramite le primitive punto, linea e area) e consideriamo due sottocasi: nel primo ci si muove all'interno dello stesso strato informativo, nell'altro la condizione di ricerca coinvolge oggetti appartenenti a due strati informativi diversi.

Nel caso della selezione tramite condizione geografica all'interno di un solo strato informativo, la struttura della richiesta di selezione è:

Selezione nello strato XX tutti gli oggetti che OP VAL ID

dove

XX identifica lo strato informativo ove operare;

OP è un operatore che agisce sulla parte geografica del dato e esegue operazioni operazioni geometriche, topologiche, insiemistiche e geografiche (esse distinte più di, essere confinante con, essere a nord di, ecc.);

VAL è il valore numerico di riferimento;

ID è un identificatore di un oggetto all'interno dello stesso strato.

Questa richiesta di selezione è valida qualunque sia la primitiva geometrica (punto, linea, area), purchè ovviamente l'operatore sia adatto ad operare su quella primitiva. VAL e ID, inoltre, possono essere presenti singolarmente o anche insieme, in funzione dell'operatore. Riportiamo di seguito alcuni esempi con le diverse primitive e vari operatori.

Seleziona nello strato 'Discariche' tutti gli oggetti che sono distanti più di 25 km dalla discarica 'Seveso'

In questo caso le discariche sono considerate oggetti puntuali e la discarica Seveso è quella di riferimento per l'operatore geometrico.

Seleziona nello strato 'Strade statali' tutti gli oggetti che sono connessi con la Strada Statale 'Cassia'

Le strade statali sono qui oggetti lineari; l'operazione di connessione è topologica e manca il parametro numerico VAL.

Seleziona nello strato 'Comuni' tutti gli oggetti che confinano con il Comune di 'San Giuliano Terme'

In questo caso abbiamo a che fare con oggetti areali e l'operazione è ancora una volta topologica.

Un'importante operatore applicabile in alcune selezioni riguarda la forma degli oggetti. La selezione seguente:

Seleziona nello strato 'Edifici' tutti gli oggetti che hanno forma 'quadrata'

Una selezione come questa, presumibilmente di interesse urbanistico, coinvolge un operatore geometrico oggi non ancora implementato nei software commerciali: il riconoscimento della forma di un oggetto. Questa è contenuta in modo implicito nelle coordinate del dato territoriale; tuttavia il concetto di forma è abbastanza estraneo, al momento attuale, al mondo dei GIS.

Seleziona nello strato 'Edifici' tutti gli oggetti che sono distanti più di 2500 m dall'edificio 'Scuola Elementare E.Fermi'

Quest'ultimo caso che riportiamo, a prima vista scontato, pone il problema di definire la distanza tra due oggetti areali.

12.5 - Selezione con condizione geografica 2 (strati diversi)

La selezione tramite condizione geografica su strati diversi presuppone che la condizione da soddisfare provenga dal risultato di un calcolo in cui compaiono come operandi oggetti appartenenti a strati diversi e in genere descritti tramite primitive diverse. Sulla base delle primitive coinvolte possiamo distinguere nove casi in quanto per ciascun tipo di primitiva (punto, linea e area) appartenente all'insieme da selezionare sono attivabili condizioni con ciascuno dei tre tipi di primitiva appartenente all'insieme che detta la condizione. Il numero degli operatori disponibili è notevole perchè:

- esistono più operatori che operano su primitive di tipo diverso di quelli che operano su primitive dello stesso tipo;
- anche nel caso di primitive dello stesso tipo, l'appartenenza a strati diversi permette di usare operatori che non avrebbero senso se le primitive appartenessero allo stesso strato (per esempio l'operatore intersezione di aree ha senso se le aree appartengono a strati diversi come particelle catastali e uso del suolo, mentre darebbe sempre risultato zero se applicato in qualunque combinazione alle aree del solo strato 'particelle catastali').

Le nove possibilità sono descritte negli esempi seguenti:

- Elementi selezionandi: aree (particelle catastali)
 Elementi condizionanti: aree (aree di uso del suolo)
Seleziona nello strato 'particelle catastali' tutti gli oggetti che intersecano nello strato 'uso del suolo' oggetti 'frutteto'
 Risultato: aree (particelle catastali) di cui almeno una parte è frutteto.
- Elementi selezionandi: aree (Comuni)
 Elementi condizionanti: linee (strade statali)
Seleziona nello strato 'Comuni' tutti gli oggetti che intersecano nello strato 'strade statali' oggetto 'Aurelia'
 Risultato: aree (Comuni) intersecati dalla strada statale Aurelia.
- Elementi selezionandi: aree (Comuni)
 Elementi condizionanti: punti (Centrali nucleari)
Seleziona nello strato 'Comuni' tutti gli oggetti che sono distanti meno di 10 km da oggetto 'Caorso' dello strato 'centrali nucleari'
 Risultato: aree (Comuni) distanti meno di 10 km dalla centrale nucleare di Caorso.
- Elementi selezionandi: linee (strade statali)
 Elementi condizionanti: aree (vincoli paesaggistici)
Seleziona nello strato 'strade statali' tutti gli oggetti che intersecano nello strato 'vincoli paesaggistici' oggetti di tipo '7777/07'
 Risultato: linee (strade statali) che corrono all'interno di aree salvaguardate con la L.7777 del 2007.
- Elementi selezionandi: linee (strade statali)
 Elementi condizionanti: linee (linee ferroviarie)
Seleziona nello strato 'strade statali' tutti gli oggetti che intersecano nello strato 'linee ferroviarie' oggetti di tipo 'BS'
 Risultato: linee (strade statali) che intersecano ferrovie a Binario Singolo.
- Elementi selezionandi: linee (strade statali)
 Elementi condizionanti: punti (sottopassi)
Seleziona nello strato 'strade statali' tutti gli oggetti che intersecano nello strato 'sottopassi' oggetti di tipo 'B450'
 Risultato: linee (strade statali) che attraversano sottopassi di tipo particolare (per amore di esempio, questi potrebbero essere possibile vincolo a carichi speciali).
- Elementi selezionandi: punti (discariche)
 Elementi condizionanti: aree (vincolo paesaggistico)
Seleziona nello strato 'discariche' tutti gli oggetti che sono distanti meno di 10km da oggetto 'parco Elba' dello strato 'vincolo paesaggistico'
 Risultato: punti (discariche) distanti meno di 10 km da un particolare parco.
- Elementi selezionandi: punti (scarichi in corpi idrici)
 Elementi condizionanti: linee (aste fluviali)
Seleziona nello strato 'scarichi in corpi idrici' tutti gli oggetti che sono appoggiati su oggetto 'Arno' dello strato 'aste fluviali'
 Risultato: punti (scarichi in corpi idrici) appoggiati sul fiume Arno.
- Elementi selezionandi: punti (beni architettonici)
 Elementi condizionanti: punti (epicentri di terremoti)
Seleziona nello strato 'beni architettonici' tutti gli oggetti che sono distanti meno di 15 km da

oggetto '1352/92' dello strato 'epicentri di terremoti'
Risultato: punti (beni architettonici) distanti meno di 15 km dall'epicentro del terremoto 1352 del 1992.

12.6 - Selezione con condizione mista

(o selezione tramite condizione geografica e condizioni sugli attributi)

La selezione tramite condizione geografica e condizioni sugli attributi non presenta, da un punto di vista concettuale, alcun valore significativamente diverso dai due casi precedenti. L'integrazione delle possibilità offerte dalle due selezioni precedenti all'interno di un unico comando rende più sintetica l'azione di un operatore, ma non aggiunge significato al fatto di operare due operazioni in sequenza. Ciononostante, da un punto di vista operativo, la nuova sintassi può essere molto attrante, come appare dai comandi di selezione riportati ad esempio.

*Seleziona tutti i Comuni che adiacenti al Comune di Milano
dove il rapporto tra abitazioni non occupate e abitazioni esistenti
è maggiore del 5%*

*Seleziona tutti i tratti di strada
che intersecano la A22 e la SS12
con larghezza maggiore di 12 m e lunghezza minore di 1 km*

*Seleziona tutte le opere d'arte
la cui data di esecuzione sia compresa tra il 1300 e il 1492
all'interno di aree vincolate
con distanza da impianti industriali a rischio minore di 5 km*

12.99 - La Selezione – Autovalutazione

1. Qual è il meccanismo con cui si attuano le operazioni di Query o Select ?
2. Qual è il risultato di un'operazione di Select
3. Quali sono i diversi tipi di Select a seconda se operano sulla parte geografica e/o sugli attributi ?

13.1 - Trasformazioni Raster-Vector

La trasformazione di dati dal modello Raster al modello Vettoriale (o Vector) o viceversa viene eseguita principalmente quando si verifica una delle due condizioni:

- il dato nel suo formato attuale non è nel suo formato “naturale”.
È questo il caso ad esempio delle curve di livello che, digitalizzate nella loro forma naturale, sono vettori, in particolare linee. Tuttavia l’informazione che esse portano è un’informazione morfologica che si rappresenta meglio in un formato raster. Pertanto, al termine di una fase di acquisizione di dati da cartografia, se sono state acquisite le curve di livello, è immaginabile una conversione dell’informazione da Vector a Raster.
Simmetricamente, nella fase di acquisizione di dati vettoriali a partire da cartografia disegnata, un’immagine raster, risultato della rasterizzazione di una carta, viene trattata in modo che l’informazione contenuta, codificata in raster, ma di natura tipicamente vettoriale, sia rappresentata tramite linee e aree.
- il dato nel suo formato attuale non si presta ad essere elaborato efficacemente. Questo caso accade quando il dato debba essere sottoposto ad operazioni complesse, per esempio di modellistica ambientale. Il modello raster permette di eseguire efficientemente operazioni che, nel mondo vettoriale, richiederebbero tempi di elaborazione eccessivi. Le analisi eseguibili con le tecniche della “map algebra” fanno parte di questo caso. In questa situazione dati vettoriali sono convertiti in raster, le operazioni richieste vengono eseguite in raster e infine, se necessario, i risultati sono di nuovo riportati in formato vettoriale.

Nel mondo vettoriale abbiamo tre primitive: punti, linee e aree, e nel mondo raster la primitiva è una sola, il pixel. Pertanto considerando la trasformazione da raster alle tre primitive vettoriali e le trasformazioni inverse, abbiamo sei casi possibili.

13.2 - Trasformazione di Aree da Vector a Raster

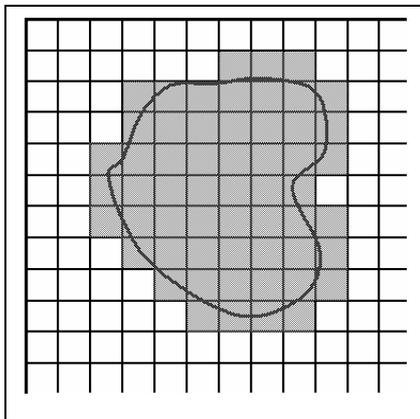
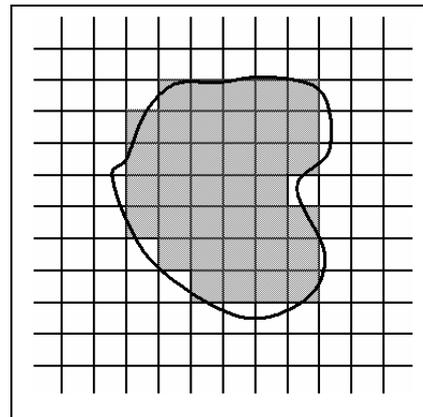
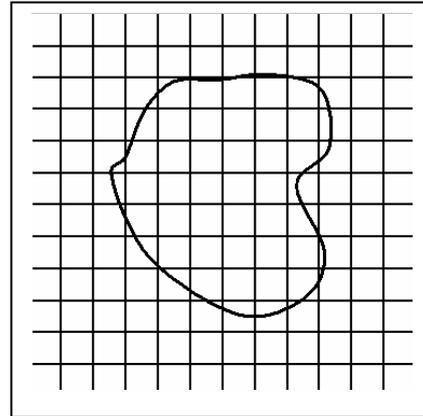
Sia data un'area nel formato vettoriale in un certo sistema di riferimento; la trasformazione nel modello raster consiste nell'identificare i pixel che descrivono, con una certa approssimazione, l'area e nell'associare ad essi un valore che permetta di riconoscere l'area (p.e. il valore di un identificatore).

I pixel fanno parte di una tassellazione dello spazio la cui risoluzione è definita a priori.

La trasformazione da Vector a Raster (V>R) non può essere geometricamente perfetta a causa della presenza, nel mondo vettoriale, di linee oblique e il non allineamento di quelle orizzontali e verticali sulla griglia di pixel.

La rappresentazione di un'area originariamente descritta nel modello Vector in un modello raster è geometricamente intuitiva se si suppone di sovrapporre la griglia del modello Raster all'area e di considerare facenti parte dell'area i pixel che cadono all'interno di essa. I pixel completamente compresi nell'area sono marcati come appartenenti all'area, quelli completamente esterni sono marcati come non appartenenti all'area; quelli parzialmente compresi vengono in genere marcati come appartenenti all'area o meno con un "criterio di prevalenza": Se più della metà della loro superficie ricade nell'area sono appartenenti all'area, altrimenti no. L'insieme dei pixel identificati è la descrizione dell'area nel modello raster.

Come si vede né il perimetro né la superficie sono mantenuti nel passaggio dal modello vettoriale a quello raster.



Per decidere se assegnare o meno un pixel all'area possiamo utilizzare, al posto del criterio di prevalenza, un criterio di presenza. In questo caso un pixel è identificato come appartenente all'area se una sua parte, per quanto piccola, è toccata dall'area.

L'utilizzo del criterio di presenza crea problemi nel caso in cui si trasformi da vettoriale a raster un insieme di aree contigue. Infatti pixel, che ricadono al bordo di due aree

andrebbero assegnati contemporaneamente a due (anche più di due) aree, e questo in genere crea una contraddizione.

La figura mostra il risultato della rasterizzazione di tre aree col criterio di prevalenza. L'immagine permette di apprezzare i problemi che deriverebbero dall'uso del criterio di presenza e mostra anche un fatto curioso. In casi particolari potrebbe accadere che i pixel identificati come appartenenti ad un'area (la 3 nel nostro caso) non siano connessi. Nel caso di una successiva ritrasformazione da raster a vector, questo modificerebbe in modo significativo l'informazione.

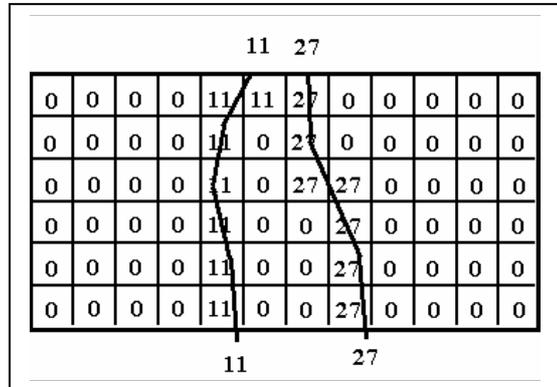
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	3	0	0	0
0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	0	0	0	0
0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	0	0	0
0	0	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
0	0	1	1	1	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
0	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0
0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

13.3 - Trasformazione di Linee da Vector a Raster

Le linee sono caratterizzate dal fatto di avere spessore nullo; cercare di trasportare un'informazione di questo tipo in un modello raster, dove per definizione i pixel hanno spessore non nullo nelle due direzioni, richiede di fare una scelta tra due possibili interpretazioni.

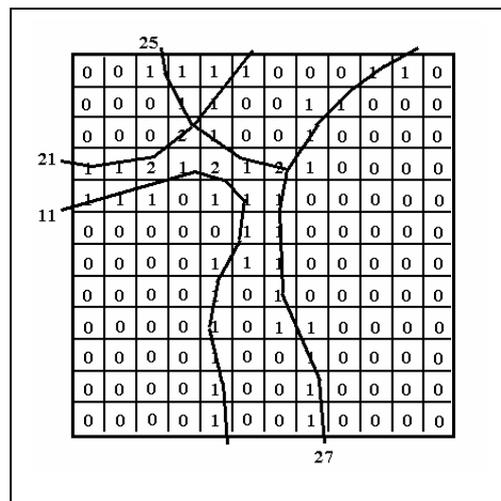
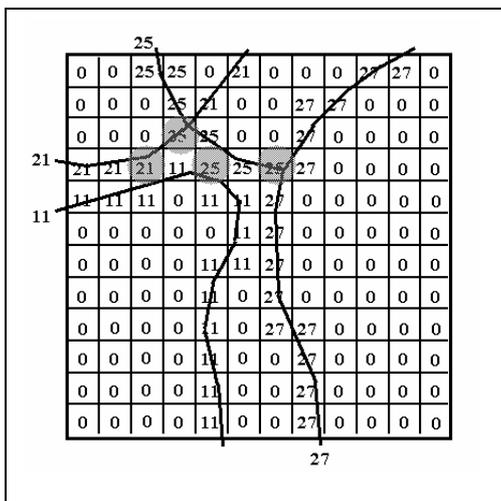
La prima interpretazione è quella secondo la quale un pixel toccato dall'entità lineare viene identificato come pixel che descrive l'entità. Ciascun pixel assegnato ad un oggetto assume un valore direttamente correlato all'oggetto stesso; in altre parole dal valore del pixel è possibile risalire all'oggetto (codifica di attributo).

La figura mostra alcuni oggetti lineari con un codice identificativo: tutti i pixel toccati da tali oggetti assumono come valore il codice identificativo dell'oggetto.



I limiti di questa interpretazione sono evidenti quando si pensa che, se i pixel sono relativamente grandi, un certo numero di oggetti dello stesso tipo possono essere compresi nello stesso pixel. In tal caso è necessario fare una scelta e assegnare al pixel il codice identificativo di uno dei due oggetti. Nel caso di elementi lineari questo può causare l'interruzione di una linea e quindi la perdita di informazione relativa alla continuità dell'oggetto.

Queste incongruenze sono parzialmente risolte con la seconda interpretazione, secondo la quale il pixel toccato dall'oggetto non viene assegnato all'oggetto, bensì porta l'informazione della presenza di un oggetto (codifica di presenza). Un oggetto lineare con codice identificativo 27, quando tocca un pixel, non gli trasferisce l'informazione "27" tipica dell'oggetto, bensì l'informazione "1" che indica che quel pixel è toccato da un oggetto. In questo modo si perde la possibilità di risalire dal valore del pixel all'oggetto, ma si acquista la possibilità di gestire la presenza di più oggetti all'interno dello stesso pixel, il quale assume valore 0, 1, 2, n a seconda che sia toccato da nessuno, uno, due "n" oggetti.



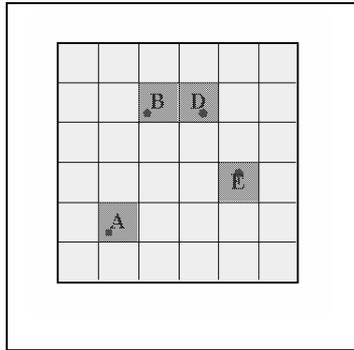
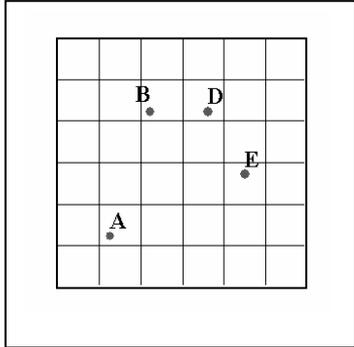
13.4 - Trasformazione di Punti da Vector a Raster

Il caso dei punti è molto simile a quello delle linee in quanto anche i punti sono, come le linee, caratterizzati dal fatto di non estendersi in due dimensioni, come invece fa il pixel che è la primitiva di arrivo della trasformazione.

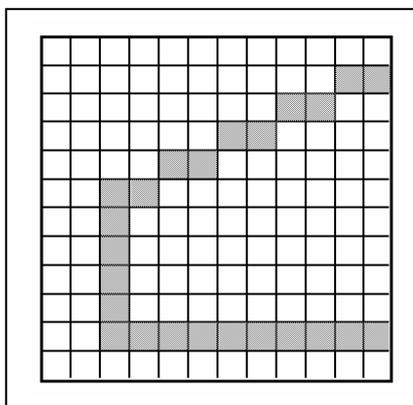
Possiamo pertanto, in prima battuta, immaginare di assegnare ad un pixel un identificatore uguale a quello dell'elemento puntuale che vi ricade, e nessun valore se all'interno di quel pixel non ricade alcun punto.

0	0	0	0	0	0
0	0	2	1	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tuttavia, se per caso due o più punti ricadono all'interno dello stesso pixel, saremo costretti a scegliere, come nel caso delle linee, tra uno dei due punti, e in questo caso avremo completamente perso traccia dell'esistenza dell'altro. Il criterio di presenza è una buona soluzione anche in questo caso, come nel caso delle linee, anche se vi è perdita di informazione.



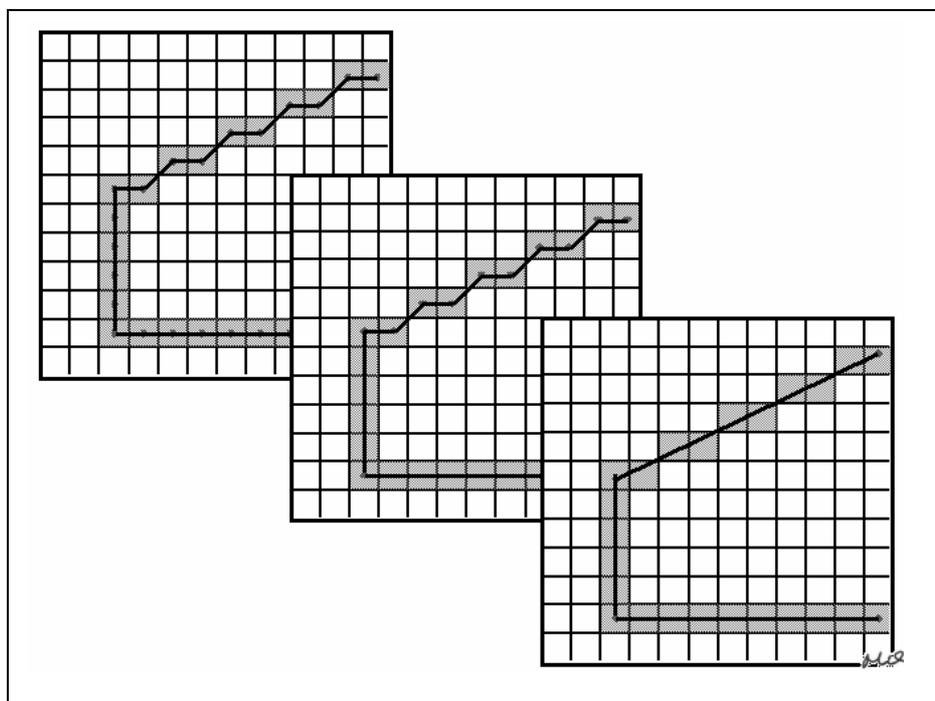
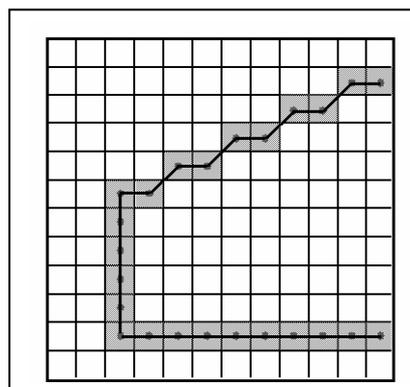
13.5 - Trasformazione di Linee da Raster a Vector



Una linea rappresentata nel mondo raster è formata da una serie di pixel aventi uno stesso identificativo, che si toccano o per un lato o per un vertice. Per evitare ambiguità, ogni pixel, esclusi quelli terminali, dovrebbe essere in contatto con non più di altri due pixel.

Il modo per trasformare questa informazione nel mondo vettoriale consiste concettualmente nel collegare con piccole linee centri dei pixel consecutivi, rispettando la sequenza. Ne risulterà un insieme di microelementi, sicuramente connessi tra di loro, la cui posizione può essere orizzontale, verticale o obliqua a 45°.

È evidente che alcuni punti non danno alcun contributo alla geometria del dato. Si tratta dei punti intermedi lungo tratti orizzontali e verticali. Ma anche i punti intermedi lungo tratti obliqui di pendenza costante non portano informazione, in quanto la “scalettatura” che essi descrivono è quasi sempre all’interno dell’errore dei dati. Se supponiamo che la base raster provenga da una rasterizzazione a 300 ppi, le differenze tra la rappresentazione scalinata della linea obliqua e una rappresentazione lineare sono di meno di mezzo pixel e quindi di meno di mezzo decimo di mm. Pertanto si possono eliminare questi punti intermedi con l’operazione di sfooltimento.



A volte, se i dati sono destinati ad una rappresentazione di qualità, si operano “arrotondamenti” sugli spigoli dei vettori ottenuti, sempre all’interno delle tolleranze, in modo da migliorare la gradevolezza visiva della primitiva.

13.6 - Trasformazione di Aree da Raster a Vector

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

Un insieme di pixel che hanno lo stesso valore V e che costituiscono un insieme connesso viene trasformato in un'area avente per bordi i lati compresi tra i pixel che hanno valore V e quelli che hanno valore diverso da V.

L'identificazione dei bordi dei pixel che soddisfano la condizione detta forma un insieme di microelementi lineari, come nel caso delle linee. Su di essi si opera, esattamente come nel caso delle linee, fino ad ottenere elementi areali.

Contrariamente al caso della trasformazione da vector a raster, questo cambio di rappresentazione non introduce, da un punto di vista geometrico, alcun errore; spesso tuttavia, per migliorare l'effetto visivo, si operano "arrotondamenti" sugli spigoli.

Qualora i dati debbano essere inseriti in un Data Base Territoriale sarà necessario, in questo caso come nel caso delle linee, attivare il processo di acquisizione a iniziare dal blocco "topologia".

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

13.7 - Trasformazione di Punti da Raster a Vector

Questo tipo di trasformazione non crea alcun problema tecnico. Poiché i punti sono rappresentati nel modello raster da singoli pixel, i punti da definire in vettoriale coincideranno coi centri degli stessi pixel.

13.99 - Trasformazioni Raster-Vector – Autovalutazione

1. Cosa vuol dire convertire un dato vettoriale in un dato raster e cosa cambia nel modo di esprimere l'informazione ?
2. Quali approssimazioni si fanno nella conversione da vettoriale a raster ?
3. Esistono approssimazioni nell'operazione da raster a vettoriale ?
4. Qual è il rapporto tra la dimensione dei pixel e la densità di oggetti vettoriali?
5. Come si comportano gli attributi nelle due conversioni?

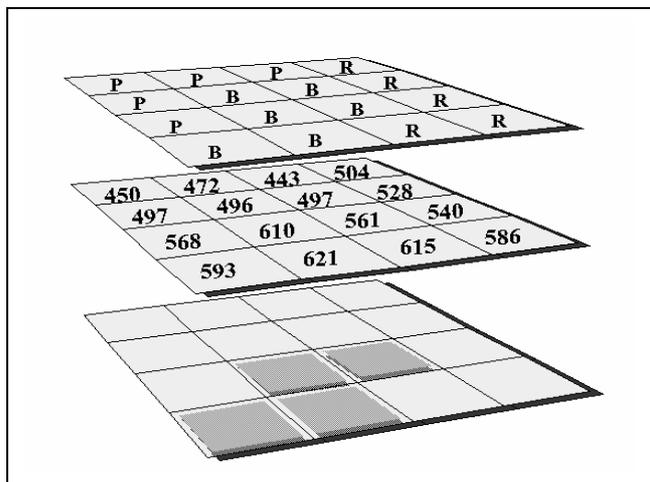
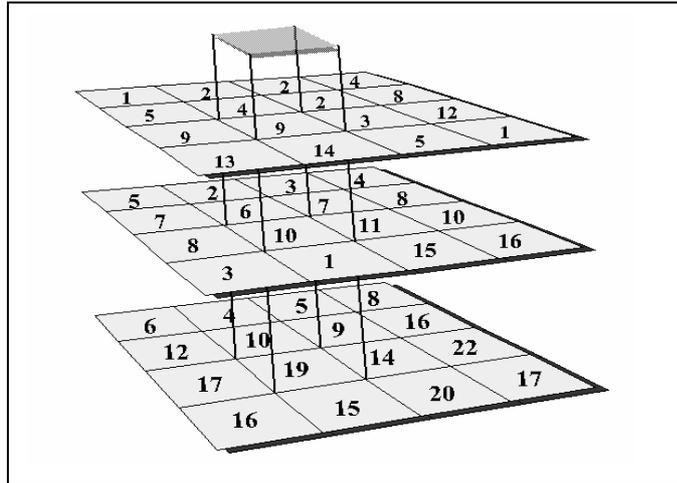
14.1 - Definizione di Map Algebra

Consideriamo una serie di immagini fisiche e simboliche. Ogni immagine è formata da pixel ciascuno dei quali fornisce alcune specifiche caratteristiche di una parte di territorio. Un'immagine (fisica) di quote è tale che ciascun pixel dà la quota corrispondente ad un certo punto del terreno; un'immagine (simbolica) di "land cover" è tale che ciascun pixel indica il tipo di copertura del suolo in un certo punto.

Mentre la modellazione spaziale tramite vettori ci descrive "oggetti" (p.e. un bosco), la modellazione spaziale tramite raster ci descrive le caratteristiche di una parte di territorio.

Supponiamo che le due immagini precedentemente descritte siano tali che la loro origine sia la stessa, le dimensioni e la forma dei pixel siano le stesse e che le dimensioni dello spazio coperto (in sostanza il numero di righe e di colonne di ciascuna matrice) siano le stesse.

In queste particolarissime condizioni geometriche abbiamo che il pixel di coordinate (i,j) della prima matrice descrive una parte di territorio che corrisponde esattamente a quella descritta dal pixel di coordinate (i,j) della seconda matrice. In altre parole i pixel si sovrappongono esattamente.



Se in questa condizione volessimo conoscere l'estensione di "bosco" a quota superiore a 500m, dovremmo compiere un'operazione molto semplice, cioè contare i pixel per ciascuno dei quali siano verificate contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- nella matrice di quote il valore è maggiore di 500
- nella matrice di landcover il valore è "bosco".

La semplicità dell'operazione consiste nel fatto che "non dobbiamo compiere alcuna operazione geometrica", ma dobbiamo unicamente operare sugli indici delle matrici, in quanto l'esatta sovrapposizione dei pixel nelle due matrici è garantita

dall'identità delle coordinate matriciali. Insistendo nell'esempio, l'algoritmo per ottenere il risultato cercato è:

```

Numpixel := 0;
For indiceriga := 1 to numerorighe
  For indicecolonna := 1 to numerocolonne
    If (matricequote (indiceriga,indicecolonna) > 500 and
        matriceLandCover (indiceriga,indicecolonna) = "bosco" ) then
      numpixel := numpixel + 1
    end
  end
end
  
```

Alla fine di questo ipotetico programma, scritto in un formalismo adatto soltanto all'interpretazione, la variabile "numpixel" contiene il numero di pixel che rispettano la condizione richiesta.

Il fatto che all'interno della linea di codice "if" venga verificata una condizione su pixel di matrici diverse con le stesse coordinate matriciali è espressione del fatto che i pixel delle due matrici descrivono la stessa zona di territorio.

L'operazione appare molto semplice, in quanto le operazioni geografiche vengono implementate tramite gli indici delle matrici; questo è possibile se le due matrici presentano le seguenti caratteristiche

- hanno lo stesso numero di righe e di colonne
- i pixel hanno la stessa forma
- i pixel hanno la stessa dimensione
- l'origine è la stessa
- il sistema di riferimento è lo stesso

Le condizioni nella pratica non sono poi così difficili da ottenere e sono disponibili programmi utilità per arrivare alle condizioni cercate. Importante notare che la mappa risultato avrà le stesse dimensioni delle mappe di input.

La grande potenzialità di questo strumento è dovuta a:

- la possibilità di trattare un numero elevato di matrici (dove ogni matrice è di fatto un layer) sia di tipo fisico che simbolico
- la varietà degli operatori
- la semplicità con cui è possibile costruire algoritmi tramite semplici linguaggi di interazione

Questo modo di operare è stato formalizzato da Tomlin nel 1992, il quale ha definito gli operatori e le modalità con cui si poteva realizzare una struttura che si potesse definire di map algebra. Si intende dunque per "map algebra" l'uso di operatori di tipo logico e matematico applicati a matrici che riportano dati territoriali con una serie di vincoli geometrici.

Gli operatori applicabili in questo contesto sono classificati in:

- operatori locali
- operatori zonali
- operatori focali
- operatori globali

Fanno parte poi del contesto della "map algebra" altri operatori, detti "di utilità", necessari al pretrattamento delle immagini.

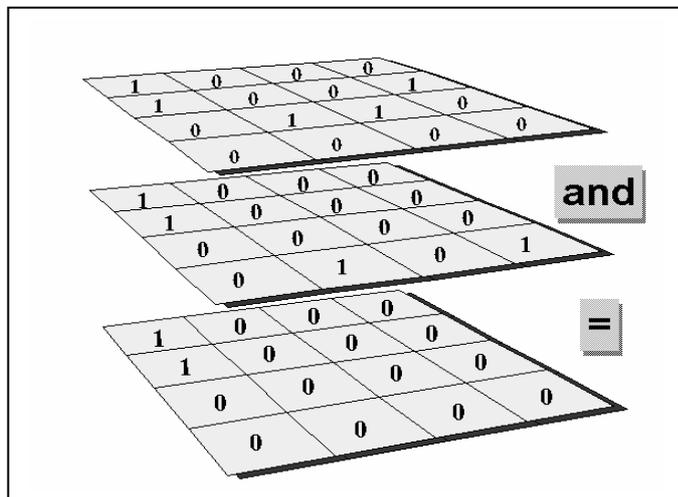
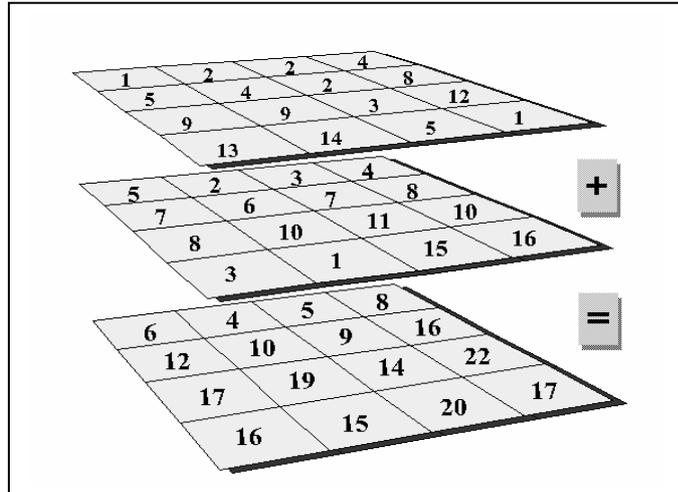
14.2 - Operatori locali

Questi operatori consentono di attribuire ad ogni elemento del layer risultato un valore funzione dei valori dei corrispondenti elementi dei layer di input.

Come si può vedere dall'esempio, dove è applicato l'operatore "somma locale", i valori attribuiti alle singole celle esprimono la somma algebrica eseguita tra le corrispondenti celle delle mappe di input.

Il discorso è analogo per qualsiasi altra operazione, non solo di tipo matematico: gli operatori possono infatti essere di tipo matematico (aritmetico, trigonometrico, statistico, logaritmico e così via), logico (vero o falso), di confronto (maggiore o minore).

Gli impieghi degli operatori locali sono molteplici, dalla semplice conversione di unità di misura (operatore di moltiplicazione) alla attribuzione di valori ottenuti da operazioni algebriche o statistiche su serie di valori, ad operazioni di riclassificazione.

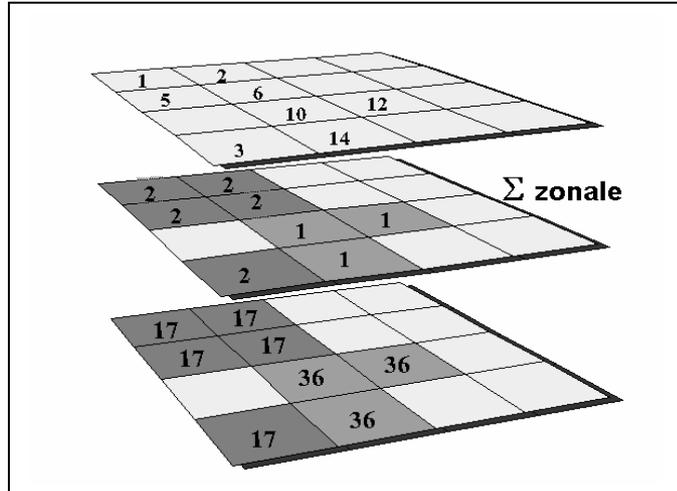


14.3 - Operatori zonali

Un operatore zonale è tale che il valore delle celle del layer risultato è funzione dei valori delle celle di uno o più layer di input, raggruppate secondo zone definite in un altro layer di input.

Come si vede in figura, nel primo layer compaiono delle celle a cui sono attribuiti determinati valori. Nel secondo layer di input vengono invece definite due zone.

Applichiamo a queste due matrici di input un operatore di somma zonale: nel primo layer di input vengono sommate tra loro solamente le celle appartenenti ad una stessa zona, così come definita dal secondo layer. Se si osservano le celle appartenenti alla zona 2, si vede che la loro somma algebrica è pari al valore che compare in tutte le celle della zona 2 nella mappa risultato.



Oltre alla somma zonale, sono operazioni zonali tipiche il calcolo della media, in cui a tutte le celle di una zona viene attribuito il valore della media dei valori delle singole celle, e il calcolo del valore minimo e massimo o di un range di valori.

Un esempio di applicazione pratica dell'operatore somma zonale è in campo ambientale, per calcolare la distribuzione di specie animali nelle zone di avvistamento.

14.4 - Operatori focali

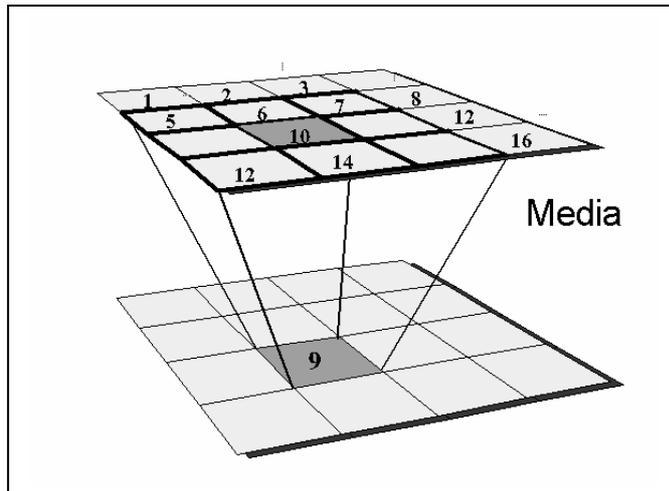
Un operatore focale è tale che il valore degli elementi del layer risultato è funzione dei valori di elementi appartenenti ad un intorno dell'elemento considerato.

La differenza fondamentale rispetto agli operatori zonali è che in questi ultimi il valore risultato dell'operazione viene attribuito ad un'intera zona, mentre nel caso di operatori focali il valore calcolato tra più celle viene attribuito solamente ad un elemento.

In figura viene fornito l'esempio dell'operatore media focale per chiarire meglio il concetto sopra espresso.

È necessario scegliere il tipo di operatore (ad esempio tra operazioni di media, deviazione standard, range, somma, tipici esempi di operatori focali), e l'intorno dell'elemento di interesse, in termini di dimensione e di forma. Nell'esempio in figura l'intorno scelto è di forma quadrata, ma si può trattare anche di una forma circolare, rettangolare, ad anello, ecc..

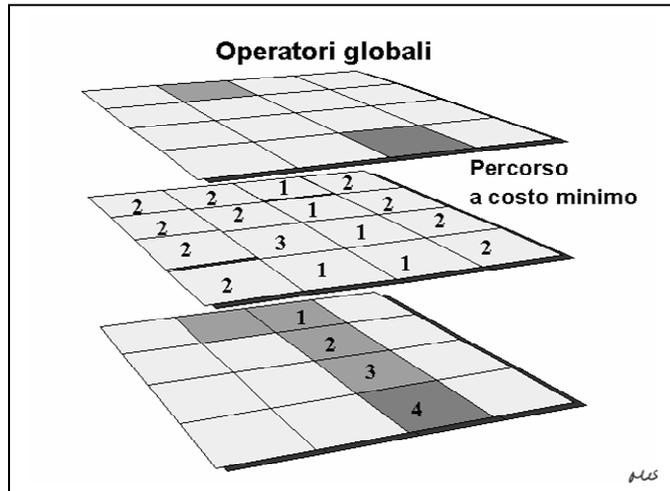
Un esempio di operatore focale è fornito dai filtri utilizzati nei processi di misura di grandezze, per eliminarne i picchi oppure i rumori di fondo.



14.5 - Operatori globali

Gli operatori globali vengono utilizzati per determinare layer di output in cui il valore delle celle dipende potenzialmente dai valori di tutti gli elementi del layer di input.

Con riferimento alla figura, si vuole determinare il percorso a costo minimo tra una cella di origine e una cella di destinazione (colorate in figura). Questo comporta il calcolo di tutti i possibili percorsi, per poter determinare quello a costo minimo. Per poter eseguire questo calcolo, è evidentemente necessario conoscere il valore di tutte le celle del layer di input, ed ecco perché questi operatori vengono definiti globali.



Un altro esempio di operatore globale è quello per cui, dato un pixel di valore “k”, occorre trovare la distanza a cui si trova il più vicino pixel che assume lo stesso valore. I valori di distanza sono quelli che popolano la matrice risultato.

14.6 - Operatori di utilità

Per poter effettuare operazioni di Map Algebra vi è una condizione imprescindibile, ossia che le mappe su cui si opera siano dello stesso formato e che siano esattamente delle stesse dimensioni, sia in termini di risoluzione che di dominio. Questa non è la generalità dei casi, visto che si hanno mappe in formato oppure con gradi di risoluzione diversi. Si rendono quindi necessarie operazioni di conversione e di modifica delle dimensioni.

Gli operatori di utilità sono quegli operatori necessari per predisporre le mappe in modo da poter essere utilizzate dagli operatori della Map Algebra. Essi permettono le seguenti operazioni: importazione, modifica della risoluzione, riclassificazione, mosaicature e altre operazioni geometriche (riproiezioni, rotazioni, traslazioni).

L'operazione di importazione altro non è che la trasformazione da un formato vettoriale ad uno raster.

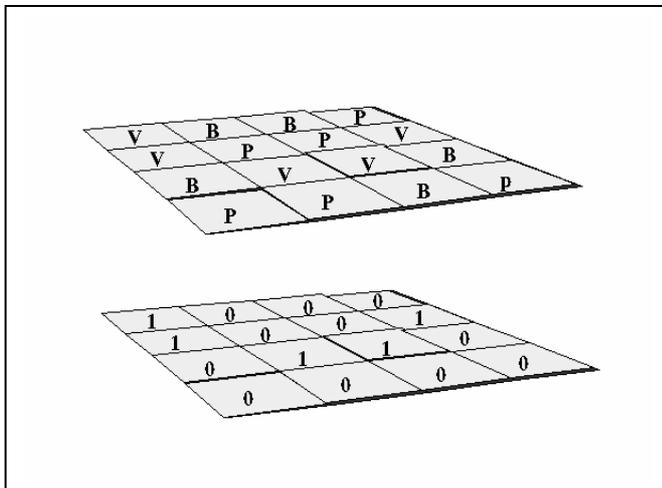
Per quanto riguarda il processo di modifica della risoluzione si possono presentare due casi: l'aumento o la diminuzione della risoluzione.

L'aumento di risoluzione comporta l'introduzione di un maggior numero di celle all'interno di una mappa delle stesse dimensioni di quelle di partenza, il che implica una diminuzione della lunghezza del lato delle celle della nuova mappa. Alle nuove celle viene attribuito un valore pari a quello della cella di partenza in cui erano contenute. Il processo è evidentemente molto semplice, ma si deve porre attenzione a non confondere la maggior risoluzione con una maggiore accuratezza della nuova mappa, visto che non sono state introdotte nuove informazioni.

La diminuzione di risoluzione implica la creazione di una nuova mappa delle stesse dimensioni di quella originaria, con un minor numero di celle in essa contenute, che avranno dimensioni maggiori. In questo caso si pone il problema di quale valore assegnare alle nuove celle. Esistono al proposito diverse tecniche di interpolazione studiate da uno specifico settore noto come "interpolazione spaziale".

L'operazione di riclassificazione è definita come l'assegnazione di valori diversi alle celle della mappa di input. Si può operare in due modi: modificando il valore di ogni singola cella uno ad uno, oppure assegnando ad ogni cella un valore calcolato sulla base della distribuzione di tutti i valori del dominio. Tipico esempio di questo secondo modo di operare è la distribuzione di variabili in "classi", che porta ad una "classificazione" dei valori.

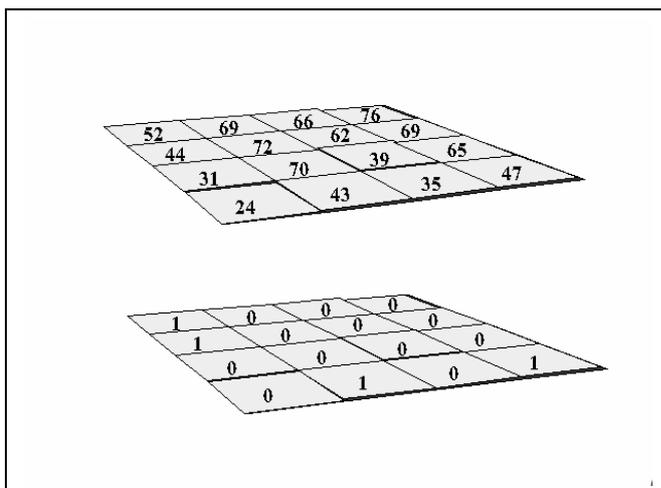
La figura mostra il caso in cui un'immagine simbolica viene riclassificata in un'altra matrice: i valori "P" e "B" della prima matrice assumono nella seconda il valore "0", e i valori "V" il valore "1".



Un altro esempio riguarda un'immagine fisica: i valori della prima matrice compresi tra 41 e 55 assumono, nella seconda il valore "1", gli altri il valore "0".

Altre operazioni che si possono definire di utilità sono quelle geometriche, ossia tutte quelle operazioni necessarie per riportare le mappe agli stessi sistemi di riferimento.

L'operazione di mosaicatura consiste nella fusione di due o più mappe diverse. È un'operazione che richiede la gestione delle eventuali sovrapposizioni con diverse tecniche, di interpolazione o altro (ad esempio determinando a priori che una mappa è di qualità migliore dell'altra, per cui nelle zone di intersezione si considerano solamente i dati di tale mappa).



14.99 – Map Algebra – Autovalutazione

1. Quali sono le condizioni geometriche imposte dalla Map Algebra?
2. Quali sono i vantaggi tecnici e operativi offerti dalla Map Algebra?
3. Perché trattare gli indici di una matrice è più semplice che operare sulle coordinate di primitive geometriche vettoriali?
4. Quali sono i quattro tipi di operatori della Map Algebra?
5. Fornite un esempio di operatore per ciascun tipo, individuando operatori che trovino applicazione in casi reali.
6. Qual è la tipica applicazione di un operatore focale che opera su una matrice di quote?
7. A cosa servono gli operatori di utilità?
8. Come si preparano operazioni di Map Algebra se si hanno unicamente dati vettoriali?
9. L'intorno di un operatore focale può essere asimmetrico rispetto al fuoco?

15.1 - Relazioni spaziali tra oggetti

Leggendo una carta siamo in grado di capire le relazioni spaziali che esistono tra oggetti diversi. Noi sappiamo leggere i segni presenti su una carta, sappiamo interpretarli in termini di entità e sulla base di considerazioni geometriche come ad esempio la vicinanza, l'intersezione, l'allineamento, l'orientamento siamo in grado di capire se un insieme di case formano un paese, se da una strada principale si può deviare su una secondaria, se due punti sono reciprocamente visibili, se una casa ha facciata esposta al sole, ecc.

All'interno di uno strumento GIS le relazioni spaziali tra oggetti, con esclusione di quelle codificate nella topologia, sono memorizzate in modo implicito all'interno della parte geometrica dell'informazione.

L'incrocio è un'operazione che, sfruttando la parte geometrica dell'informazione, permette di esplicitare alcuni tipi di relazioni spaziali tra oggetti. Tali relazioni possono collegare fenomeni espressi anche tramite primitive diverse, come ad esempio una mappa di "qualità della vita" ottenuta da un'incrocio tra dati socioeconomici (su base areale) e localizzazioni di reati (espressi su base puntuale).

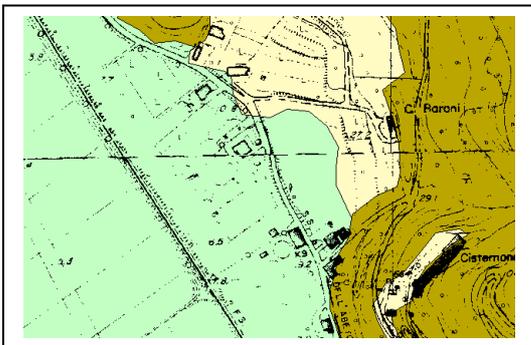
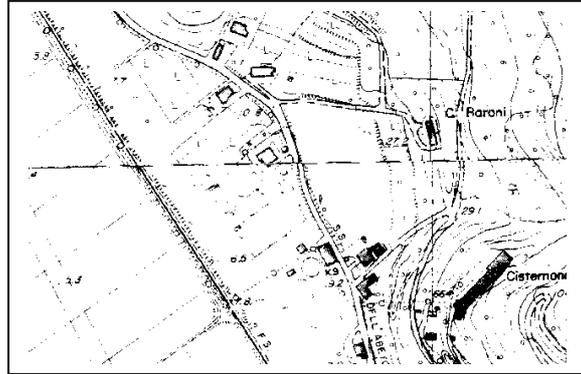
L'operazione opera tramite un certo algoritmo che agisce su entità codificate all'interno dello strumento GIS e ne restituisce le relazioni cercate in modo automatico. Occorre però non sottovalutare anche la possibilità di definire relazioni tra oggetti codificati in un archivio GIS in modo semplicemente visivo, come si fa quando si legge una carta disegnata. In questo caso lo strumento GIS è usato come archivio e come strumento di disegno, capace di evidenziare particolari tematismi presenti negli attributi.

Il concetto di rapporto spaziale tra oggetti, di cui abbiamo portato alcuni esempi, è un concetto più ampio di quello che si può ottenere con l'operazione di incrocio, così come è comunemente inteso. Tuttavia se è vero, come è vero, che uno strumento GIS è principalmente un "integratore di informazione eterogenea", l'operazione di incrocio è la traduzione algoritmica di quello che è il significato più profondo dei GIS.

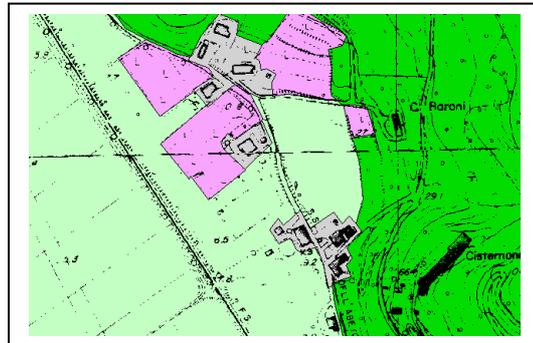
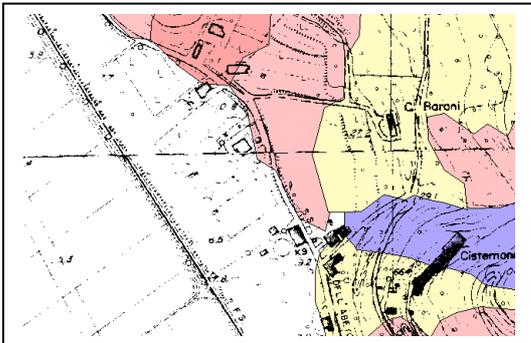
Nei paragrafi che seguono simuleremo, con un processo grafico, tre criteri di incrocio, partendo da uno molto semplice e radicale fino ad uno più sofisticato. L'esposizione avviene, per forza di cose, facendo riferimento ad una grafica, ma, nella lettura, occorre cercare di immaginare il processo che sta sotto la grafica e come l'informazione viene manipolata, trasformata o, in certi casi, distrutta.

15.2 - Incrocio per esclusione

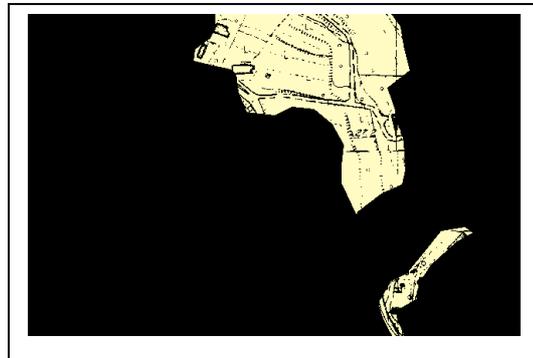
Con riferimento alla figura, supponiamo di voler trovare il luogo che meglio si presta ad impiantare un vigneto. Questo è un caso particolare di un problema molto generale, noto come “best site allocation”, cioè la scelta del luogo che presenta le condizioni migliori per un certo specifico obiettivo.



Supponiamo di conoscere, nell'area usata come esempio, la pendenza, l'esposizione e la copertura del suolo, e di voler usare tali strati informativi per risolvere il nostro problema. Le figure citate riportano le carte tematiche dei tre temi noti con la relativa legenda. Si noti che, sovrapposto al tematismo, vi è uno strato raster della base cartografica, che permette di inquadrare meglio il tematismo stesso.



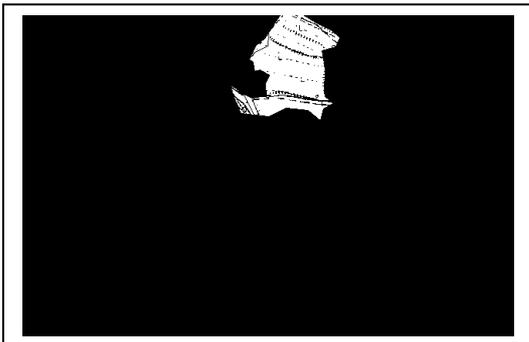
Iniziamo adesso un processo di classificazione secondo il quale definiamo “non adatte” al nostro obiettivo le aree con pendenza nulla o elevata. Se tali aree vengono disegnate in nero otteniamo la mappa riportata in figura.



Applichiamo un processo analogo allo strato delle esposizioni, e dichiariamo “non adatte” al nostro scopo le aree che hanno esposizione “nord” o “nord-ovest”. Nella figura tali aree vengono disegnate in nero mentre le altre aree, considerate invece “adatte” allo scopo sono lasciate bianche.



Per quanto riguarda infine lo strato della copertura del suolo, dichiariamo “non adatte” le aree con copertura “edificato” e quelle con copertura “bosco”, nella logica in cui sia impensabile impiantare un vigneto in un’area edificata così come in un’area boscata che consideriamo protetta.



Abbiamo così ottenuto tre carte binarie: ciascuna carta ci dice che una certa area è eleggibile per i nostri scopi (quella in bianco) e l’area complementare è “non eleggibile”. La somma di queste ultime aree (un’operazione di OR per l’esattezza) ci dà l’insieme delle aree non adatte.

Possiamo esprimere il concetto dicendo che ogni elemento areale diventa “non eleggibile” o “Escluso” se è tale (cioè nero) per almeno uno dei tre strati informativi binari.

$$E = E_p \text{ or } E_e \text{ or } E_c$$

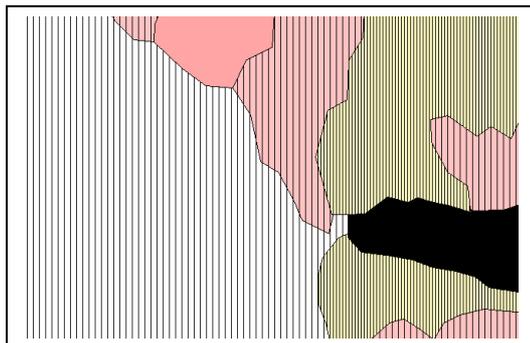
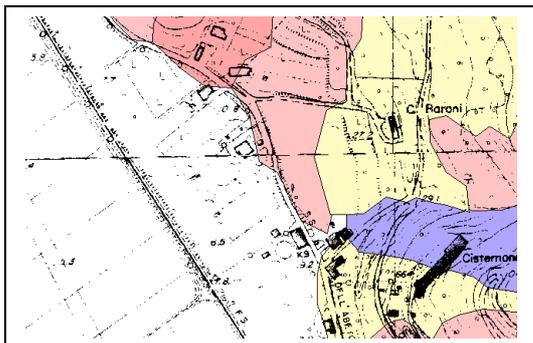
O analogamente che un elemento areale è “Candidato” se è tale (cioè bianco) in tutti e tre gli strati informativi binari.

$$C = C_p \text{ and } C_e \text{ and } C_c$$

15.3 - Incrocio pesato

L'operazione di incrocio per esclusione è un'operazione abbastanza grezza, per quel che riguarda la classificazione binaria (adatto – non adatto) eseguita sugli strati informativi originali. Potremmo essere meno rigidi nella classificazione e associare ad ogni valore dei vari tematismi (p.e. l'esposizione) un coefficiente di merito. Questo criterio ci permette, ad esempio, di esprimere il fatto che per il nostro vigneto l'esposizione a nord è proibitiva, ma quella a sud non è equivalente a quella ad ovest, come accadeva nel caso binario, bensì migliore.

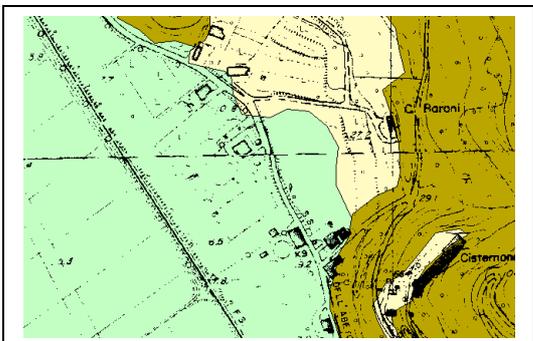
Rappresentando con una campitura a barre verticali a densità crescente un indice di inadeguatezza, come descritto in tabella, abbiamo codificato la mappa di esposizione in una mappa di merito per esposizione.



Esposizione	Inadeguatezza	Densità campitura
Pianura e sud ovest	Bassa	Bassa
Ovest	Media	Media
Sud	Nulla	Nessuna campitura
Nord	Elevata	Fondo nero

Valori di esposizione e tipo di rappresentazione grafica utilizzata

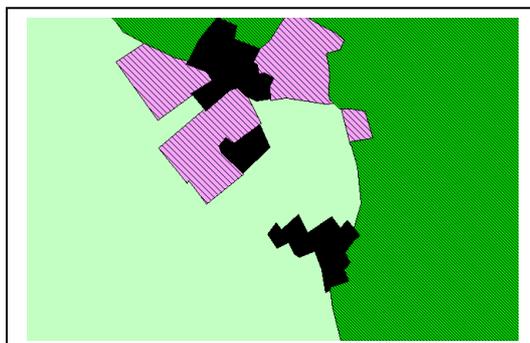
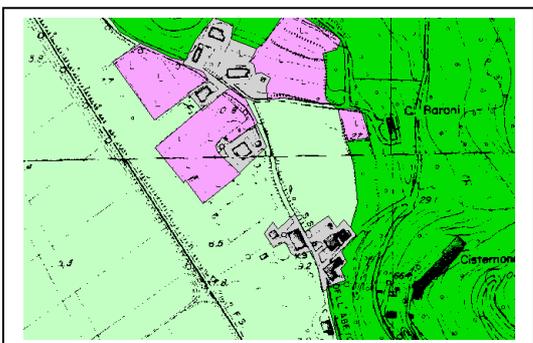
Sulla base della tabella abbiamo codificato la mappa di pendenza in una mappa di merito per pendenza. In questo caso si esprime la scarsa adeguatezza di zone ad alta pendenza per impiantare un vigneto, l'ottima situazione della collina e una situazione intermedia per la pianura. Anche in questo caso la presenza di valori chiari è indice di adeguatezza dell'area per i nostri obiettivi.



Pendenza	Inadeguatezza	Densità campitura
Alta	Elevata	Elevata
Media	Nulla	Nessuna campitura
Pianura	Media	Media

Valori di pendenza e tipo di rappresentazione grafica utilizzata

Infine nel caso dell'uso del suolo è stata usata la tabella di merito riportata di seguito. Riportiamo rispettivamente lo strato originale e la rappresentazione grafica dopo la classificazione.

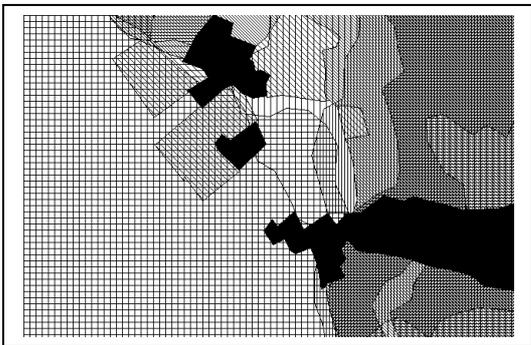
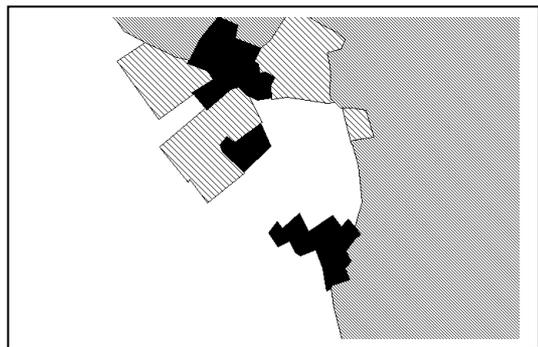
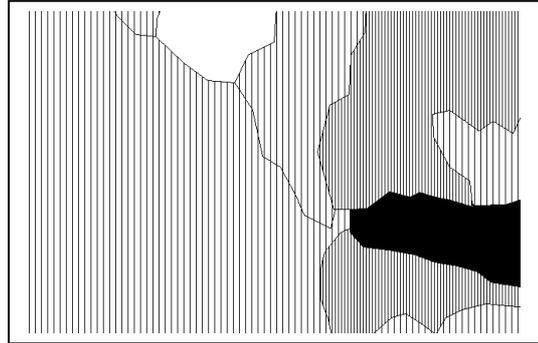


Copertura del suolo	Inadeguatezza	Densità campitura
Urbanizzato	Totale	Fondo nero
Bosco	Elevata	Media
Seminativo	Nulla	Nessuna campitura
Impianto esistente	Bassa	Bassa

Valori di copertura del suolo e tipo di rappresentazione grafica utilizzata

Si noti che nei casi della pendenza e della copertura del suolo abbiamo usato tratteggi rispettivamente orizzontali e obliqui per differenziare le tre rappresentazioni grafiche.

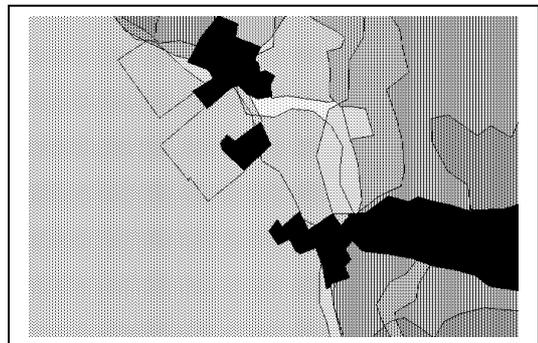
Abbiamo adesso le tre mappe di merito, ciascuna delle quali ci esprime, con un tono di grigio più o meno elevato, espresso tramite una campitura, l'inadeguatezza dell'area per i nostri scopi, basata su esposizione, pendenza e landcover.



Sovrapponiamo le tre mappe di merito. I diversi toni di grigio, rappresentati tramite campiture, si sommano graficamente e producono livelli di grigio che sono relazionabili ad un coefficiente di merito che è la somma dei coefficienti di merito delle tre mappe.

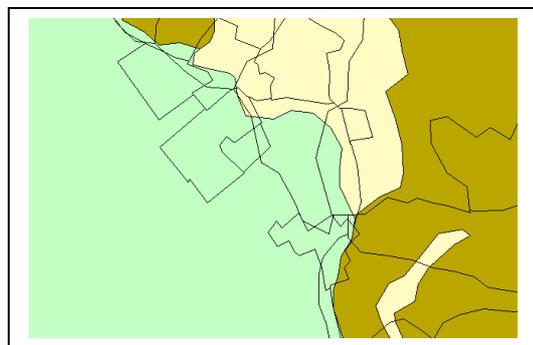
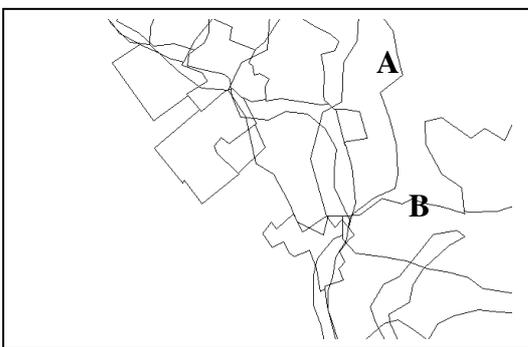
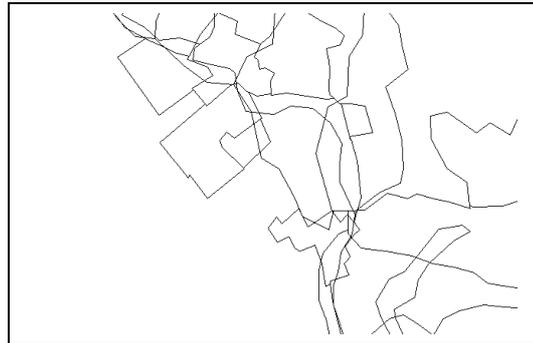
Aver utilizzato campiture con diverso orientamento permette di risalire al motivo (nel nostro caso pendenza, esposizione o copertura del suolo) che rendono l'area inadeguata. Si notano nella figura alcune aree totalmente inadatte e altre fortemente inadatte.

Se rinunciamo alla tecnica delle campiture e usiamo semplici livelli di grigio otteniamo una mappa finale un po' diversa. Essa risulta più gradevole alla vista, ma perdiamo la possibilità, per ciascuna area risultata, di risalire ai motivi che hanno causato un certo livello di inadeguatezza.

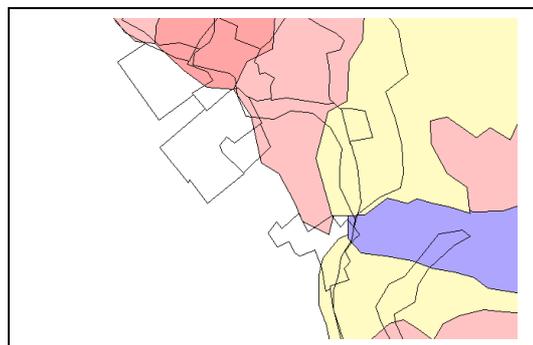


15.4 - Incrocio per trasferimento degli attributi

Possiamo modellare la nostra operazione di incrocio in un terzo modo. Immaginiamo di disegnare, l'uno sull'altro, i tre strati informativi di origine, dimenticando, in questa operazione, la possibilità di rappresentare tematismi; operiamo cioè unicamente sulla parte geografica dell'informazione.



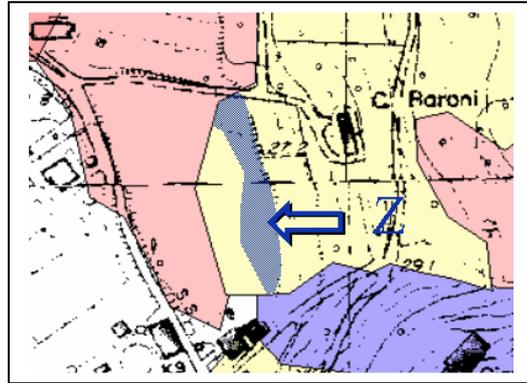
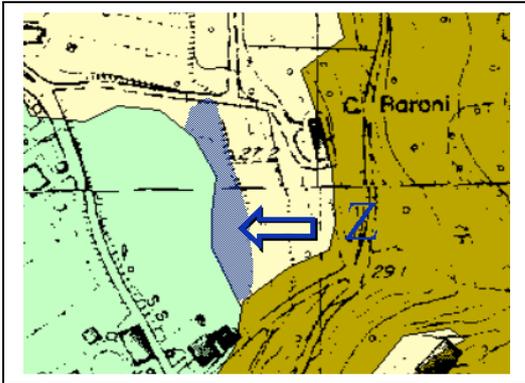
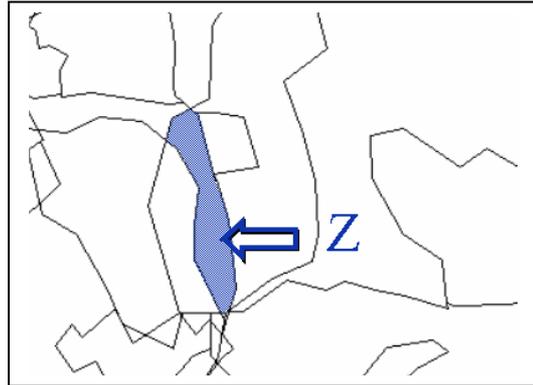
In questa sovrapposizione vediamo tracciate le linee che provengono dai tre strati; in particolare la linea indicata con **A** è una linea che proviene dallo strato delle pendenze e divideva un'area a pendenza elevata (a destra) da una a pendenza media (a sinistra). La linea indicata con **B** è una linea che proviene dallo strato delle esposizioni dove divideva un'area a esposta a nord ovest (di sotto) da una esposta a ovest (di sopra). Analogamente è possibile trovare un esempio per quanto riguarda lo strato della copertura del suolo.



Nella sovrapposizione sono quindi rappresentate linee ciascuna delle quali separa aree diverse o per pendenza o per esposizione o per copertura del suolo; ciascuna linea ha quindi un significato preciso nel senso che non esistono due aree adiacenti che abbiano uguali contemporaneamente i valori di pendenza, esposizione e copertura del suolo.

Ciascuna delle areole generate dalla sovrapposizione porta traccia, in termini di attributi, delle caratteristiche degli strati di partenza. Ad esempio l'area Z segnata in figura saprà di essere:

- un'area con pendenza media per quanto riguarda la sua provenienza dallo strato delle pendenze
- un'area con esposizione verso ovest per quanto riguarda la sua provenienza dallo strato delle esposizioni
- un'area urbanizzata per quanto riguarda la sua provenienza dallo strato della copertura del suolo



Per verificare le asserzioni fatte occorre rilocalizzare l'areola generata dalla sovrapposizione nelle mappe originali rispettivamente di pendenza, esposizione e land cover.

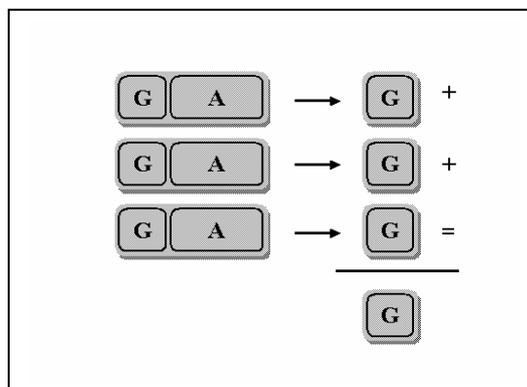
Ogni areola risultante dalla sovrapposizione degli strati iniziali e dalla conseguente frammentazione delle loro aree si ricorda le caratteristiche, in termini di attributi, degli strati iniziali e quindi, nel nostro caso, i valori di pendenza, esposizione e copertura del suolo. Se conosciamo tali valori, sarà possibile per ogni areola calcolare i corrispondenti valori di merito e quindi sommarli, ottenendo così il risultato voluto.



15.5 - Confronto fra i tre tipi di incrocio

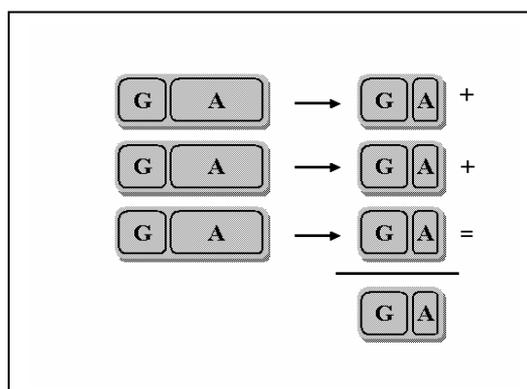
Nel cercare il luogo migliore dove impiantare il vigneto con la tecnica dell'incrocio, abbiamo usato tre criteri diversi.

Nel caso dell'incrocio per esclusione abbiamo utilizzato la parte descrittiva dei dati per ottenere tre strati informativi (adatto-non adatto nei tre casi di pendenza, esposizione e copertura del suolo) nei quali l'informazione contenuta è quasi esclusivamente grafica; l'operazione geometrica successiva ci ha permesso di ottenere un ultimo strato contenente il risultato cercato, e anche in questo caso l'informazione risultante è quasi esclusivamente grafica. Con riferimento alla figura le frecce orizzontali indicano l'operazione di classificazione e i segni "+" l'operazione che opera sulla parte grafica.



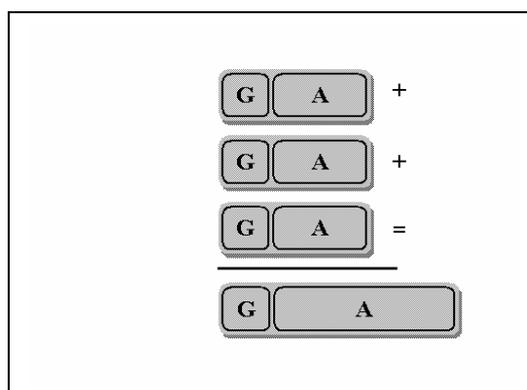
In questo caso il contenuto informativo relativo agli attributi è stato sfruttato all'inizio, nella fase di classificazione, e successivamente si è agito unicamente sulla parte grafica.

Nell'incrocio pesato i dati descrittivi (i valori di pendenza, esposizione e copertura del suolo) sono stati classificati in modo da avere dei coefficienti di merito, sintetizzando così, in un certo senso, l'informazione non grafica. Questo si percepisce nella figura per la presenza di una componente descrittiva dopo l'operazione di classificazione; se ciascun strato originale avesse avuto più attributi invece di uno solo, questa sintesi sarebbe stata ancora più evidente. Si è quindi operato sulla parte grafica.



Anche in questo caso il contenuto informativo relativo agli attributi è stato sfruttato all'inizio, ma anche nella fase terminale del processo, dopo l'operazione grafica, gli attributi restano presenti e qualificano in modo non binario ognuna delle aree risultanti.

Nel terzo caso infine, quello chiamato trasferimento degli attributi, l'operazione geometrica ha avuto la precedenza ed è stato creato un nuovo strato informativo dove ogni area portava associati, come attributi, i valori di esposizione, pendenza e copertura del suolo. Solo successivamente si è operato sugli attributi, passando dai valori ai meriti e infine al "merito finale".



È importante precisare che i tre criteri di incrocio descritti sono di tipo metodologico e la loro implementazione su uno strumento GIS avviene tramite una serie di comandi. Osserviamo inoltre che il nome "incrocio" utilizzato dai manuali dei vari software commerciali può riguardare operazioni diverse da quelle descritte o un sottoinsieme di esse.

Possiamo adesso definire l'incrocio come un'operazione che integra le informazioni presenti in strati informativi diversi, sfruttando sia la parte geometrica che gli attributi di ciascun strato.

A rigore non possiamo dire che l'operazione di incrocio produca nuova informazione, però è vero che tale operazione riesce a riorganizzare informazione esistente in diversi strati, integrandola, trasformandola e presentandola in maniera molto diversa e assai più leggibile.

L'incrocio si applica a strati informativi che possono essere rappresentati in qualsiasi modo, sia vettoriale (punti, linee e aree) che raster (pixel). Nel caso vettoriale possiamo incrociare aree con aree (e questa è l'operazione più classica di incrocio) o anche primitive in modo misto (8 casi teorici). Alcuni di questi casi, però, hanno un significato più complesso e in certi casi, addirittura, l'operazione non ha alcun significato.

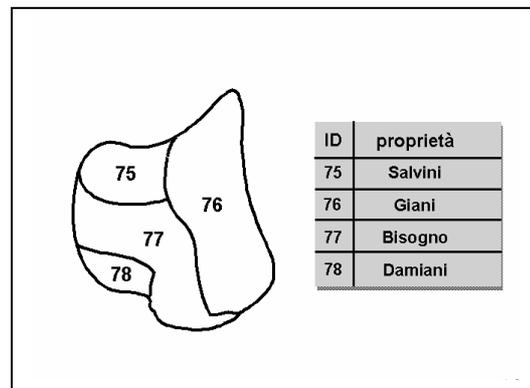
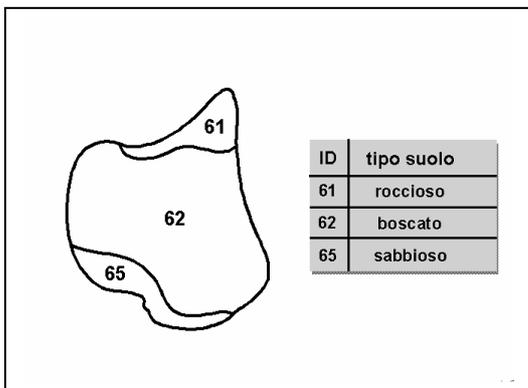
Nel mondo raster l'operazione è sempre possibile, sia che la mappa raster descriva entità puntuali, areali o lineari, salvo capire qual è il significato del risultato. Siamo in questo caso in un settore importante della tecnologia GIS noto come Map Algebra.

16.1 - Incrocio vettoriale tra aree

L'operazione di incrocio è quella che più di ogni altra esalta le caratteristiche dei sistemi GIS come integratori di dati. L'operazione di incrocio opera su due strati informativi diversi, ne integra le informazioni e alla fine crea un nuovo strato informativo dove ogni elemento eredita tutte le caratteristiche provenienti dai precedenti. L'operazione di incrocio è la traduzione algoritmica di quello che è il significato più profondo dei GIS: l'integrazione di dati eterogenei. Tra i vari tipi di incrocio quello vettoriale tra aree è quello più tradizionale e semplice da trattare.

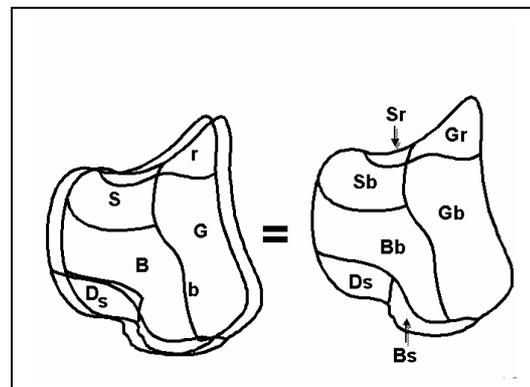
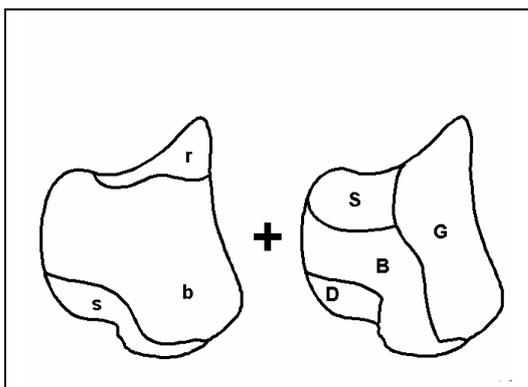
Supponiamo di avere due strati informativi in un'area isolata, per esempio una piccola isola. Il primo strato descrive la copertura del suolo e il secondo è una carta delle proprietà.

Per quanto riguarda la copertura del suolo esistono tre sole aree (identificativi 61,62 e 65) di cui si conosce il tipo suolo; l'altro strato informativo ci dice che tutta l'isoletta è divisa in quattro parti di cui si conosce il proprietario. Tipo suolo e proprietario sono quindi gli attributi di ciascuno strato.



Supponiamo adesso che sia nostro interesse avere una conoscenza più dettagliata della situazione sull'isola, e in particolare ci interessi sapere a chi appartengono i vari tipi di area (p.e. chi sia il proprietario del bosco) e in modo simmetrico che tipo di suolo sia posseduto dai vari proprietari (p.e. che tipo di suolo possiede il Sig. Damiani).

Potrebbe bastare una semplice operazione meccanica ottenuta dalla sovrapposizione dei due disegni riportati su lucido, per permettere ad un operatore di riconoscere la proprietà di un'area (o parte di essa) che ha una certa copertura o viceversa riconoscere la copertura del suolo di un'area (o parte di essa) che è posseduta da una certa persona; o in modo ancora più semplice la possibilità di conoscere la copertura del suolo e il nome del proprietario di ciascun punto dell'isola.

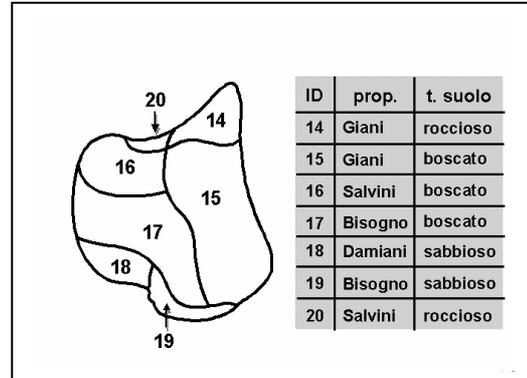


Se l'operazione fosse soltanto meccanica essa ci permetterebbe di "vedere" le informazioni suddette, ma non ci permetterebbe di fare operazioni (calcolo di superfici, adiacenze, ecc.).

Da un punto di vista più generale e più completo l'operazione da compiere deve produrre un nuovo strato informativo strutturato come un qualsiasi strato informativo, cioè con una parte geometrica ed una di attributi. Il nuovo strato informativo porta l'informazione presente negli strati originari e in esso ciascuna area è omogenea sia dal punto di vista del proprietario che da quello del tipo di suolo.

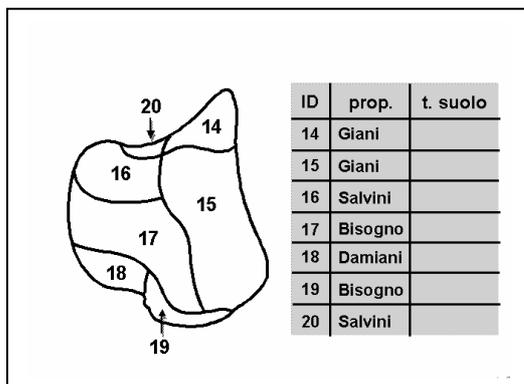
L'area 76, appartenente tutta al Sig. Giani, ha due tipi di suolo diversi è pertanto sarà divisa; l'area 61 è tutta di tipo roccioso, ma appartiene a due proprietari diversi, e quindi anch'essa andrà divisa. In conclusione ogni area elementare avrà un solo proprietario e sarà di un unico tipo di suolo. Il risultato è riportato in figura.

Nello strato finale, l'area 14 proviene dalla frammentazione dell'area 61 per quanto riguarda la copertura del suolo e dalla 76 per quanto riguarda la proprietà. L'area 61 era di tipo roccioso e l'area 76 aveva come proprietario il Sig. Giani: l'area 14 avrà quindi tra i suoi attributi rispettivamente "roccioso" come copertura del suolo e "Giani" come proprietario.



L'area 20 proviene anch'essa dalla 61, però appartiene a Salvini: la differenza di proprietà è il motivo per cui l'area 61, originariamente tutta "rocciosa" è stata divisa nella 14 e nella 20. Il fatto che l'area 61 fosse tutta rocciosa si ritrova nel fatto che nello strato risultante le aree 14 e 20 hanno il valore "roccioso" nell'attributo copertura del suolo.

Da un punto di vista concettuale l'operazione geometrica è semplice: si tratta di considerare tutti gli archi provenienti dai due strati come se provenissero da un'unica digitalizzazione operata con la tecnica "spaghetti", di spezzare gli archi nei punti dove essi si incrociano e quindi di ricostruire le nuove aree coi frammenti. Per quanto riguarda gli attributi, ciascuna areola eredita gli attributi che quella parte di piano possedeva nei due strati informativi di partenza. Pertanto la punta in alto a destra dell'isola avrà come proprietario il Sig. Giani e sarà di tipo roccioso in quanto sottoinsieme di due aree più grandi, ciascuna con quelle caratteristiche.



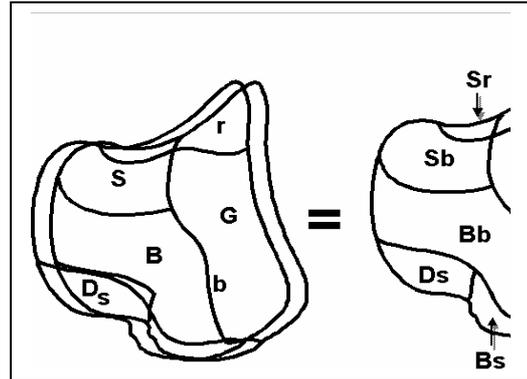
Si noti come l'operazione sia reversibile: infatti annullando dal risultato finale il contributo di uno dei due strati, per esempio quello della copertura del suolo, si ottiene l'insieme di aree rappresentato in figura. Analizzando la figura e la tabella modificata si vede che alcuni archi mantengono un significato (dividono aree con caratteristiche diverse), mentre altri archi dividono aree aventi le stesse caratteristiche. Se ad essi fossero associati i valori "Sinistra/Destra", come nella codifica DIME, essi sarebbero uguali. Essi sono quindi eliminabili e se li cancelliamo otteniamo esattamente lo strato informativo di partenza.

16.2 - Il risultato dell'operazione di incrocio

L'operazione di incrocio vettoriale tra aree opera su due strati informativi e ne genera un terzo, con nuove aree e nuovi attributi.

In termini di attributi poiché ogni area risultante porta le informazioni provenienti dai due strati iniziali, ciascuna area avrà un numero di attributi che è la somma degli attributi dei due strati. Si noti che questo principio è vero se si considerano solo gli attributi che definiscono proprietà tematiche delle varie aree. Dobbiamo escludere da questo alcuni attributi speciali come l'identificatore dell'area e alcuni attributi che vengono spesso calcolati automaticamente dai sistemi software, come ad esempio la superficie e il perimetro delle aree.

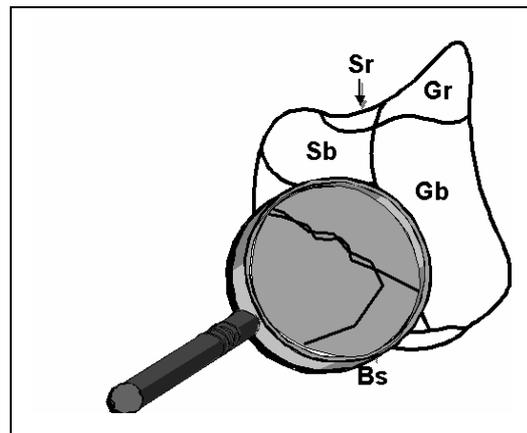
Da un punto di vista geometrico l'operazione di incrocio genera uno strato informativo più frastagliato di quelli di partenza; infatti il numero di aree dello strato finale non può essere inferiore al numero di aree di quello, degli strati di partenza, che ne conta di più e in genere sarà molto più elevato. In particolare si noti che il numero di aree risultato aumenta considerevolmente quando nei due strati si incontrano linee con geometria diversa che seguono uno stesso percorso; questo può accadere nel caso in cui uno stesso elemento geometrico compaia in due strati informativi diversi e sia stato digitalizzato in periodi diversi. Ad esempio l'asse di un fiume può comparire in uno strato informativo come limite amministrativo e in un altro come idrografia, e provenire da diversi processi di acquisizione.



A titolo indicativo, uno strato di 30 aree, ciascuna con 7 attributi, incrociato con uno di 27 aree, ciascuna con 12 attributi, può creare uno strato di qualche centinaio di aree, ciascuna con 19 attributi. Il numero di aree risultanti, non prevedibile, dipende dalla forma delle aree di partenza.

$$N_{Aree\ tot} \geq \text{MAX} (N_{Aree\ 1} , N_{Aree\ 2})$$

$$N_{Attrib\ tot} = N_{Attrib\ 1} + N_{Attrib\ 2}$$



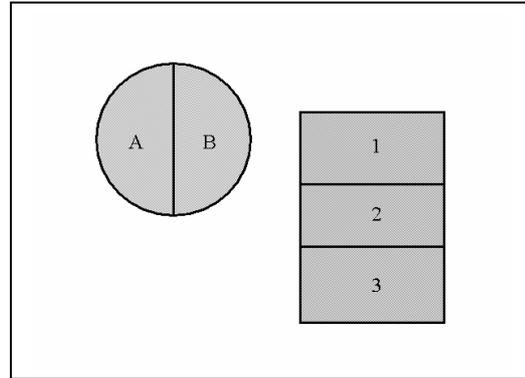
La nascita di un numero elevato di poligoni pone il problema della significatività dei poligoni stessi. Infatti è evidente che i micropoligoni generati da linee con geometria diversa che seguono uno stesso percorso sono all'interno degli errori della digitalizzazione. Si pone quindi il problema di eliminare tali poligoni, possibilmente in modo automatico. Una prima regola consiste nel dichiarare non significativi i poligoni la cui superficie sia minore di un valore prefissato. Questo criterio è ragionevole, ma non riesce a identificare poligoni di tipo filiforme che come è intuitivo possono essere prodotti nel caso citato: tali poligoni, non significativi, hanno una superficie non troppo piccola. Possiamo in questo caso far ricorso ad una grandezza definita "fattore di forma" che mette in relazione la Superficie con il Perimetro. Un'area stretta e lunga ha un fattore di forma molto basso e questo può essere una grandezza per definirne la "non significatività".

Dato un insieme di strati informativi, l'operazione di incrocio può essere effettuata tra il primo e il secondo, il risultato col terzo e così via; ne consegue che l'incrocio non è concettualmente limitato ad una coppia di strati e alcuni software permettono di effettuare tale operazione direttamente su un numero di strati maggiore di due.

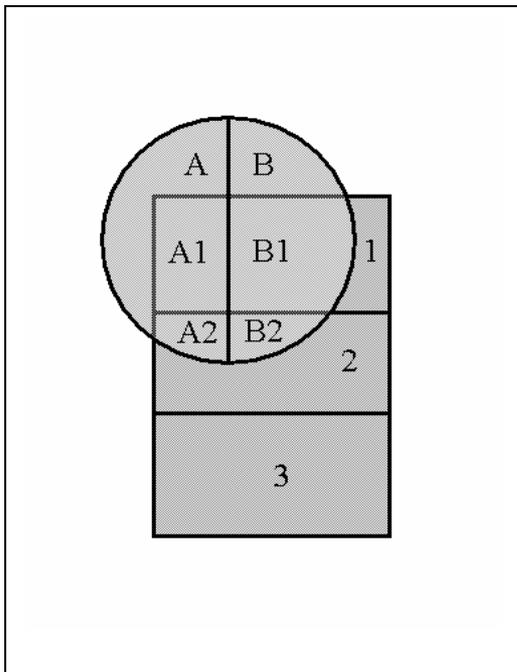
16.3 - Controllo dell'operazione di incrocio

Il bordo estremo dei due strati informativi che vengono incrociati solo raramente è lo stesso. Questo in genere non accade, e se il bordo estremo di uno strato informativo non coincide con quello di un altro strato, verranno generate aree le quali possono non avere tutti gli attributi: infatti un'area può provenire da una parte di territorio dove è definito uno strato ma non l'altro, e in questo caso gli attributi che sarebbero dovuti pervenire all'area dal secondo strato sono non definiti.

Supponiamo di avere due strati di forma diversa, sui quali vogliamo eseguire un'operazione di incrocio. La figura ci esemplifica la situazione: lo strato di sinistra è formato da due aree e l'insieme costituisce un cerchio; gli attributi delle sue aree sono rispettivamente "A" e "B"; lo strato di destra è formato da tre aree rettangolari e l'insieme costituisce ancora un rettangolo; gli attributi delle tre aree sono rispettivamente "1", "2" e "3". Le aree sono disegnate in questa fase come disgiunte. In realtà le due aree sono da considerarsi, da un punto di vista geografico, parzialmente sovrapposte.



Se si considera come risultato dell'incrocio l'insieme di tutte le aree generate si dice di aver eseguito un'operazione di incrocio per unione; il risultato è di 9 aree di cui 4 hanno sia gli attributi provenienti dal primo strato che quelli provenienti dal secondo, 2 hanno solo gli attributi provenienti dallo strato a copertura circolare e 3 hanno solo gli attributi provenienti dallo strato a copertura rettangolare.



Se si considerano come risultato finale solo le aree che possiedono tutti gli attributi, si parla di incrocio per intersezione; si hanno 4 sole aree come risultato.

Se infine si considera come risultato l'insieme delle aree dove sono presenti gli attributi provenienti da uno specifico strato, si parla di incrocio sotto condizione in quanto lo strato in questione ha condizionato, con la sua forma, il risultato finale. Se supponiamo che lo strato che impone la condizione sia quello a forma rettangolare, il risultato dell'operazione sarà l'insieme delle aree che hanno per valori degli attributi "A1", "A2", "B1", "B2", "1", "2" e "3".

Se al contrario supponiamo che lo strato che impone la condizione sia quello a forma circolare, il risultato dell'operazione sarà l'insieme delle aree che hanno per valori degli attributi "A", "B", "A1", "A2", "B1" e "B2".

16.4 - La gestione degli attributi

Si osservi che la propagazione del valore di un attributo su aree risultate da un'operazione di incrocio può portare spesso a risultati contraddittori in funzione del tipo di attributi.

Riprendendo quanto discusso in una lezione precedente, alcuni attributi, che abbiamo chiamato qualitativi, valgono per tutta la superficie senza dipendere da essa, e mantengono il loro significato in qualunque punto della superficie; per esempio se un attributo di copertura del suolo indica che una certa area è coltivata a grano, questa informazione vale per qualunque punto dell'area.

Altri attributi invece, che abbiamo chiamato quantitativi, dipendono dalla superficie; per esempio il numero di abitanti di un Comune non è una caratteristica della superficie del Comune, e se consideriamo un sottoinsieme dell'area comunale è ragionevole supporre che il numero di abitanti su di essa sia ridotto.

Nell'operazione di incrocio, gli attributi qualitativi mantengono il proprio valore, quelli quantitativi no, e occorrerà procedere a successive elaborazioni con prudenza.

16.99 - Operazione di Incrocio - Autovalutazione

1. Quali sono gli operatori e quale il risultato di un'operazione di Incrocio
2. Qual è il ruolo della geometria negli strati che partecipano ad un'operazione di incrocio
3. Perché ogni elemento geometrico è importante?
4. Qual è il numero degli aree risultato nell'incrocio tra due layer areali?
5. Qual è il numero degli attributi nell'incrocio tra tre layer areali?
6. Cosa sono gli "sliver polygons" e come si trattano
7. Cosa succede nell'incrocio tra aree se gli attributi non sono qualitativi

17.1 – Incrocio tra primitive diverse

L'incrocio è un'operazione che integra le informazioni provenienti da due livelli diversi: esso è basato su un'interazione geometrica e sulla trasposizione degli attributi dai livelli originali a quello finale. Nel caso dell'incrocio tipo "Aree con Aree", le operazioni geometriche sono evidenti ed è anche abbastanza intuitivo il meccanismo secondo il quale gli attributi si propagano, a volte in maniera un po' complessa, dalle aree dei livelli originali alle aree di quello finale.

Nel mondo vettoriale abbiamo come è noto tre tipi di primitive diverse: Punti, Linee e Aree. Se consideriamo l'incrocio come un'operazione che opera sui tre tipi di primitive in ogni possibile combinazione, possiamo avere sei casi diversi. Sono qui riportate le primitive di origine e le primitive risultato.

Primitive di origine	Primitive risultato
Aree con aree	Aree
Aree con linee	Aree o linee
Aree con punti	Aree o punti
Linee con linee	Punti
Linee con punti	Non proponibile
Punti con punti	Non proponibile

Il primo caso è stato già discusso. Gli altri casi richiedono di essere analizzati con attenzione perché o è ambigua la parte geometrica dell'operazione, o occorre chiarezza nel trattare gli attributi o ancora, in alcuni casi, l'operazione nel suo complesso non è proponibile.

Occorre ancora ribadire il fatto che intendiamo in questo contesto l'operazione di incroci come un'interazione geometrica tra primitive appartenenti a due classi di oggetti e una trasposizione degli attributi dai livelli originali a quello finale. Questo è un approccio molto generale: spesso le operazioni che qui commentiamo sono note con altri nomi e la parola "incrocio" è limitata solo ad alcuni dei casi descritti.

17.2 - Incrocio aree con linee

L'incrocio di aree con linee può dare diversi tipi di risultati:

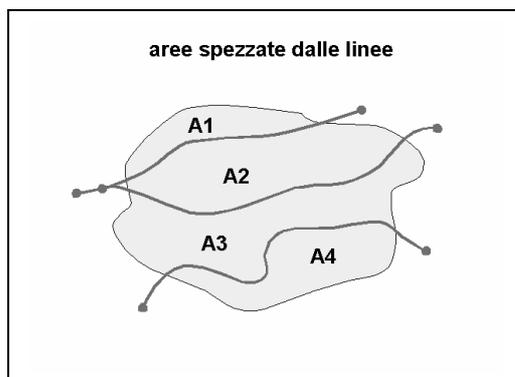
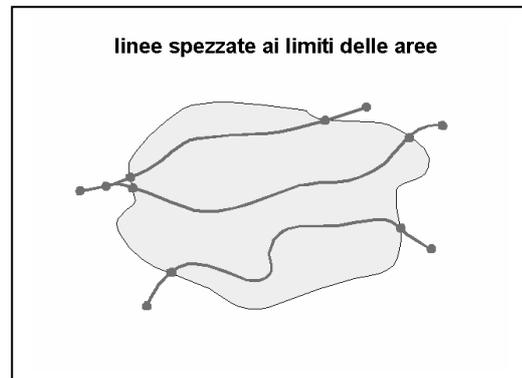
- Linee spezzate ai limiti delle aree
- Aree spezzate dalle linee
- Aree "qualificate"

Si noti che in tutti e tre i casi esiste una forte "asimmetria" nell'operazione (potremmo parlare di primitive che operano o operatori e di primitive che subiscono l'operazione o operandi); questa asimmetria non era presente nel caso più generale di intersezione di aree con aree.

Nel primo caso i bordi delle aree sono gli elementi geometrici che interagiscono con le linee e dividono queste in "sottoelementi" caratterizzati dal fatto di appartenere ciascuno ad una specifica area.

Con riferimento alla figura, la linea più in basso, che prima dell'operazione era un'unica linea viene spezzata in tre nuove linee. L'operazione è evidente da

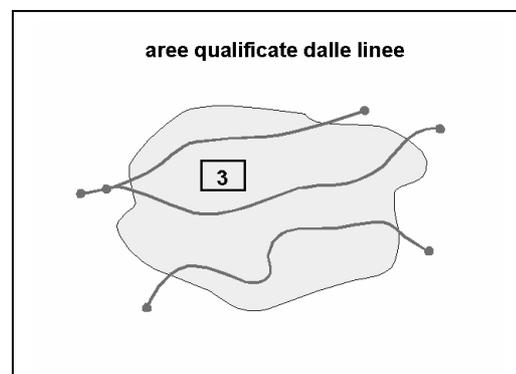
un punto di vista geometrico; dal punto di vista degli attributi, l'elemento centrale, dopo l'operazione, si arricchirà di un contributo informativo derivato dall'area che lo contiene, mentre gli altri due spezzoni o non avranno questo contributo, o avranno il contributo di due ipotetiche aree confinanti con la prima, che in questo caso non sono state disegnate.



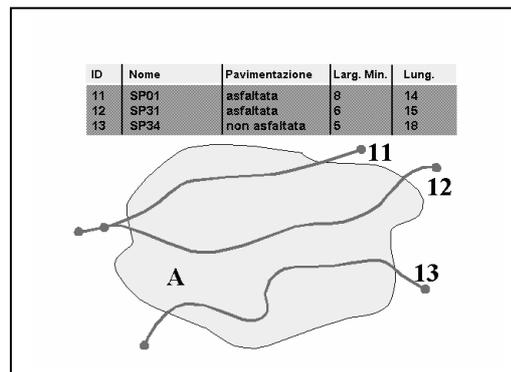
Il caso simmetrico al precedente è quello in cui sono le linee a dividere le aree in "sottoaree". In questo caso l'area viene divisa in 4 sottoaree dalle tre linee che la attraversano. Tali aree si differenziano tra loro unicamente per il fatto di stare da lati diversi rispetto alla linea che li attraversa.

Un caso significativo è quello della divisione di un'area rispetto ad un'asta fluviale, così che le due aree risultate sono caratterizzate dal fatto di essere in sponda destra o in sponda sinistra, ma in generale questo tipo di operazione non è molto comune.

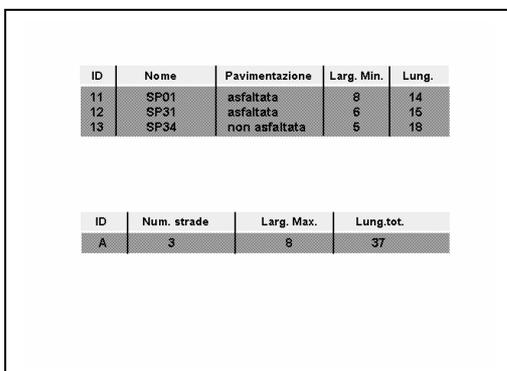
Il terzo caso, un po' particolare e meno intuitivo da un punto di vista geometrico, ma interessante per il suo significato, è quello in cui un'area viene qualificata dal fatto che alcune linee si trovano al suo interno, e queste linee portano all'area un contributo informativo. Nel caso raffigurato, il contributo informativo è molto semplice, e consiste nel "conteggio" del numero di linee che attraversano l'area (3 nel nostro caso).



Esaminiamo adesso un caso un po' più complesso. Con riferimento alla figura, supponiamo che la nostra area descriva una parte di territorio attraversata da tre strade, ciascuna dotata di proprie caratteristiche, come riportato nella tabella seguente. Come si vede alcuni attributi sono di tipo qualitativo (nome e pavimentazione e, con qualche attenzione, anche la larghezza minima) mentre la lunghezza è di tipo quantitativo.



Dopo l'operazione di incrocio eseguita con la tecnica della "qualificazione", l'area resterà geometricamente intatta (il Comune non viene spezzato dalle strade), ma informazione appartenente alle strade verrà trasformata e assegnata all'area; l'area mantiene comunque inalterata un'eventuale informazione descrittiva precedente.



Un'ipotesi di informazione appartenente alle strade, trasformata e assegnata all'area, è riportata nella Tabella seguente.

In questo caso, abbastanza articolato, l'attributo "numero di strade" indica il numero di elementi lineari che attraversano l'area; questa operazione è avvenuta tramite una prima operazione geometrica di intersezione (i bordi delle aree hanno tagliato le strade) e una successiva operazione di conteggio degli elementi lineari ottenuti ricadenti dentro l'area; l'attributo "lunghezza totale" è ottenuto come la somma delle lunghezze dei tratti stradali che ricadono nel Comune ed è di facile interpretazione.

Più complesso è invece il modo di riportare un'informazione collegata alla larghezza minima delle strade; il valore minore delle larghezze minime delle varie strade riporterebbe la larghezza minima della strada più stretta, e questo non è un'informazione utilizzabile. Potrebbe essere più interessante il valore più grande di tale grandezza, cioè la "larghezza massima delle larghezze minime" se si considera, in questo caso particolare, la disposizione delle strade, le quali attraversano tutte il Comune in direzione est-ovest. Si potrebbe interpretare questo valore come il limite per un "trasporto eccezionale"; è evidente che in questo caso ci interessa la strada che ha la larghezza minima maggiore.

L'esempio è stato riportato per dare l'idea di quanta attenzione occorra, in tutte le operazioni di incrocio, e in questo caso in particolare, nel trasferire i valori degli attributi, o una loro elaborazione, nel risultato dell'incrocio.

17.3 - Incrocio aree con punti

Come l'incrocio di aree con linee, anche l'incrocio di aree con punti è un'operazione asimmetrica. Non si ha in questo caso un'interazione tra le due primitive geometriche che causa frammentazione, bensì un'interazione basata sul concetto di appartenenza; in questo caso, cioè, un punto può appartenere ad un'area o non appartenervi.

L'operazione può produrre due tipi di risultati diversi. In un primo caso posso operare nella logica in cui sono i punti l'obiettivo dell'operazione; l'incrocio mi produrrà allora punti che vengono qualificati dal fatto di appartenere ad un'area; ciascun punto erediterà uno o più attributi dell'area cui appartiene o nella forma in cui questi attributi si trovano o dopo qualche elaborazione.

Il caso simmetrico è quello in cui sono le aree l'obiettivo dell'operazione; otterrò in questo caso aree qualificate dalla presenza di punti e di conseguenza dagli attributi ad essi associati.

17.4 - Altri incroci

L'incrocio di linee con linee è un tipo di incrocio intuitivo e geometricamente semplice. Le linee appartenenti a due strati informativi diversi si possono intersecare dando origine a elementi puntuali cui sono associabili gli attributi provenienti dalle linee corrispondenti.

Un esempio tipico è quello dello strato informativo delle strade e di quello delle linee ferroviarie, ambedue rappresentate in questo caso come linee. I punti di intersezione geometrica tra le linee dei due strati sono punti particolari (passaggi a livello, o sovrappassi/sottopassi) cui è possibile associare le caratteristiche delle strade e delle ferrovie corrispondenti.

L'incrocio di linee con punti e di punti con punti è stato dichiarato non proponibile. Questo non vuol dire che non esistano relazioni geometriche tra primitive di questo tipo; al contrario relazioni, ad esempio, di vicinanza sono possibili e ovvie, Non si tratta tuttavia di operazioni di incrocio nel senso che abbiamo visto. Nei casi trattati, infatti, esisteva sempre un punto in cui le primitive avevano un "contatto geometrico" che ne faceva variare la forma.

In questo caso operazioni con queste caratteristiche sono improponibili o senza senso. L'unico caso immaginabile è quello di punti che, trovandosi "casualmente" su una linea, la spezzano in più tratti; è evidente l'improponibilità di questa situazione a meno che i punti siano stati volutamente appoggiati sulla linea stessa, in una fase di costruzione topologica. Ma se così è stato fatto, manca quel concetto di casualità di intersezione geometrica che è alla base del principio dell'incrocio.

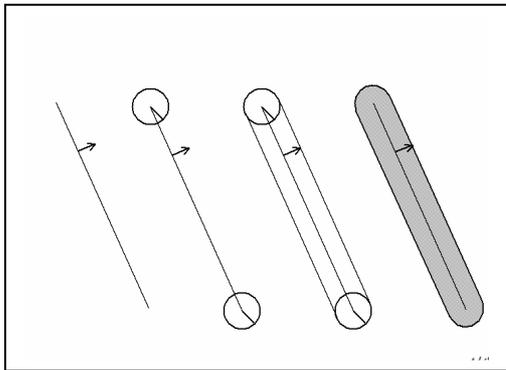
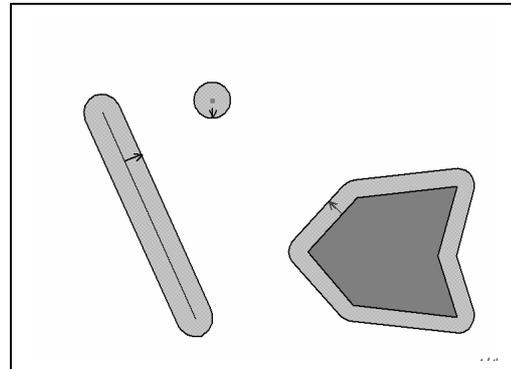
Queste considerazioni fanno riflettere anche sul fatto che l'incrocio tra aree e punti, con le sue due possibilità, sia in realtà ai limiti del concetto di incrocio.

18.1 – Area di rispetto

La definizione di un'area di rispetto è, insieme all'incrocio, una delle operazioni più caratteristiche dei sistemi GIS. La particolarità di questa operazione consiste nel fatto che essa trova riscontro nella pratica quotidiana, cioè nel concetto diffuso di *cintura di protezione* (buffer in inglese) che si estende intorno ad una struttura puntuale, lineare o areale.

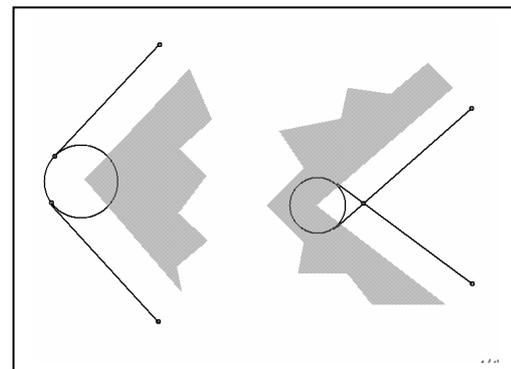
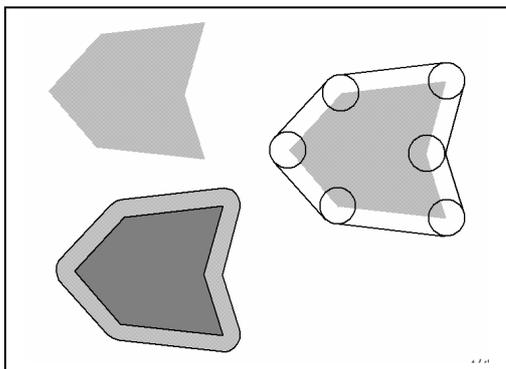
L'area di rispetto è definita come un'area che si estende all'intorno di una primitiva geometrica in modo che tutti i punti del piano che giacciono ad una distanza minore di un certo valore prefissato da un qualunque punto della primitiva fanno parte dell'area stessa.

Il valore della distanza è un parametro dell'operazione e può essere funzione di uno degli attributi dell'oggetto descritto dalla primitiva. In questo senso l'operazione di area di rispetto coinvolge contemporaneamente sia la parte geografica che quella descrittiva dell'oggetto su cui si applica.

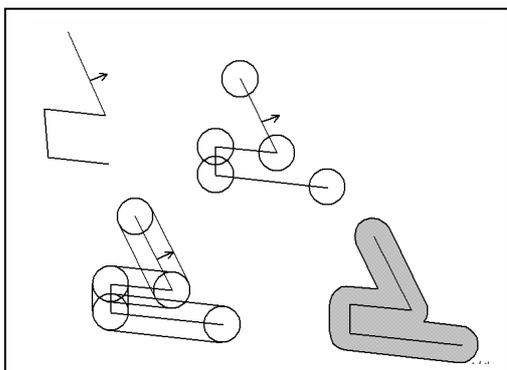


La figura indica un possibile meccanismo di creazione di un'area di rispetto intorno ad una linea formata da un solo segmento. A partire dalla linea si generano sui vertici due cerchi, di raggio uguale alla dimensione prefissata per l'operazione; quindi si collegano le due circonferenze come indicato, fino ad ottenere come risultato finale una specie di *salsicciotto*.

Un po' più complesso il caso dell'area. Occorre generare un cerchio per ciascun vertice e infine collegarli nel modo descritto; si noti che quando il poligono ha, in un vertice, un angolo interno minore di 180° , occorre considerare un arco di cerchio; quando invece l'angolo è superiore a 180° la circonferenza non interviene nella creazione dell'area di rispetto.



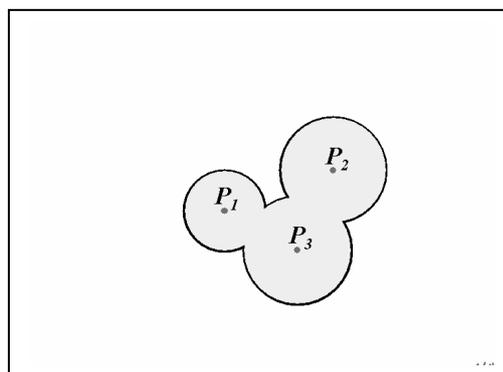
Nel caso di un'area, se questa presenta dei buchi interni, l'area di rispetto presenterà anch'essa dei buchi nei punti corrispondenti. Se tuttavia la dimensione dei buchi dell'area di origine è confrontabile con la larghezza dell'area di rispetto, quest'ultima potrebbe avere molti buchi in meno dell'area di origine.



Nel caso di una linea formata da una serie di segmenti concatenati, i *salsicciotti* si combinano in sequenza, sovrapponendosi nella parte terminale: quello che risulta è una figura relativamente complessa, che dovrebbe dare un'idea della complessità algoritmica dell'operazione.

Quando l'area di rispetto è generata a partire da un certo numero di primitive, le singole aree possono interagire, generando così aree di rispetto più ampie, come mostrato nel caso di tre punti.

In generale aree di rispetto generate da linee e aree presenteranno, rispetto alle primitive di origine, un aspetto più dolce e meno frastagliato, come se su di esse avesse operato un filtro passa basso.



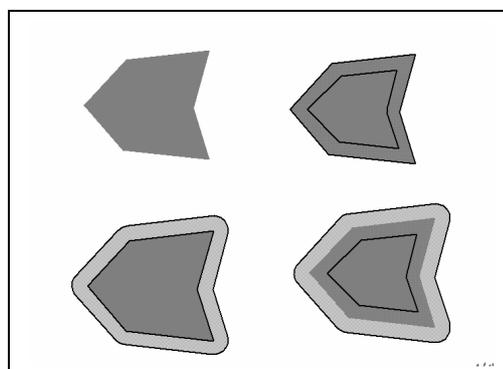
Può capitare di dover definire un'area di rispetto la cui larghezza è legata al valore di un parametro degli oggetti di origine; si potrebbe ad esempio avere:

***calcola l'area di rispetto intorno agli oggetti dello strato "edifici"
con larghezza 50m se il tipo edificio è "bene architettonico"
e con larghezza 100m se il tipo edificio è "militare"***

In questo caso l'operazione può essere considerata come divisa in due parti distinte: una prima in cui si calcola l'area di rispetto relativa agli edifici di tipo "bene architettonico" con larghezza 50 m e una seconda in cui si calcola l'area di rispetto relativa agli edifici di tipo "militare" con larghezza 100 m. Infine sui due insiemi di aree così ottenuti si applica un'operazione di unione. Il risultato è quello della figura seguente, dove si sono evidenziati con un tratteggio diverso i risultati delle due diverse operazioni. In realtà il risultato consiste in un'unica area. Il caso discusso potrebbe essere ulteriormente complicato dal fatto di unire aree provenienti dall'operazione eseguita su primitive punto, linea ed area contemporaneamente.

Il risultato dell'operazione area di rispetto (nota anche come *buffering*) è un'area che in generale non ha alcun attributo; nonostante questo è un'operazione molto complessa da un punto di vista algoritmico: non tutti i sistemi GIS la implementano, e alcuni la eseguono, per semplicità computazionale, ricorrendo al modello raster.

Nel caso delle aree, è possibile definire un'area di rispetto esterna alla figura, come abbiamo finora trattato, o un'area di rispetto interna alla figura, o ancora un'area di rispetto sia interna che esterna. Quest'ultimo caso in realtà consiste in un'area di rispetto relativa al perimetro dell'area, e non all'area stessa. In ogni caso la buffer interna o quella esterna e interna sono relativamente rare e, quando non diversamente specificato, si intende per buffer di un'area quella esterna.



18.99 – Area di rispetto - Autovalutazione

1. Cosa è un'area di rispetto e come è generata
2. Quali parametri possono guidarla?
3. Quali sono i motivi della sua complessità

19.1 – Il modello di elevazione

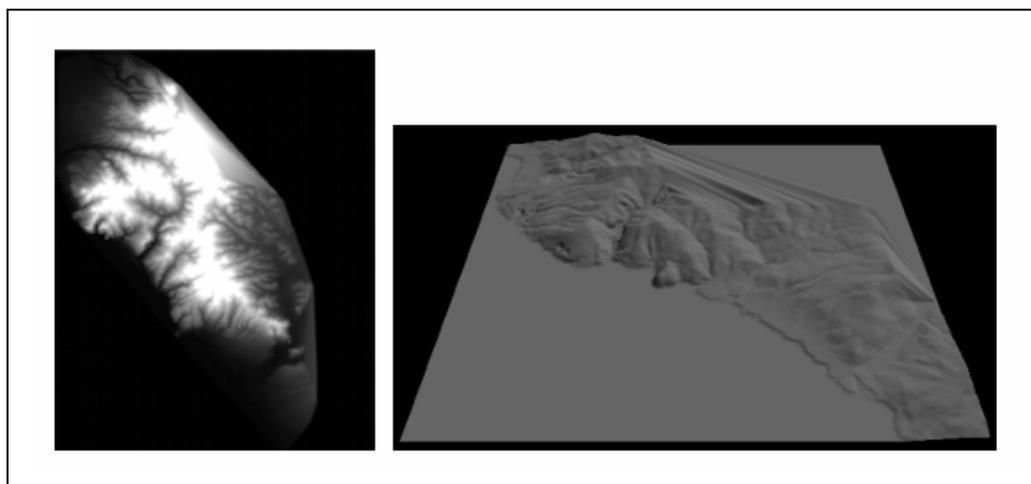
Un caso particolare di immagine fisica è quella dove ciascun pixel porta informazioni riguardanti la quota del terreno. Si tratta, come è evidente, di uno strato informativo estremamente importante in quanto moltissime applicazioni nei campi dell'urbanistica, dell'ambiente, della geologia, ecc. richiedono questo tipo di conoscenza. La matrice di quote ha avuto la sua prima applicazione nel passato, come prodotto intermedio indispensabile per la produzione di ortofotocarte.

La descrizione della forma del terreno (morfologia) è stata affrontata dalla cartografia ricorrendo ad una tecnica vettoriale, e non tramite un dato raster. In pratica il cartografo rappresenta la morfologia del terreno tramite linee, le isoipse, o tramite punti quotati. Questo era in un certo senso una scelta obbligata, visto che lo strumento usato dal cartografo, la "penna", è per sua natura uno strumento vettoriale; ma questa tecnica ha tuttora alcuni importanti vantaggi:

- un'analisi, anche rapidissima, delle isoipse ci fornisce informazioni relative alla pendenza, all'esposizione, agli impluvi. Questo è dovuto alla nostra capacità di analisi, per cui la densità delle curve di livello ci fa percepire una pendenza più o meno elevata e la direzione dei fasci di curve di livello ci dice l'orientamento di un versante. La forma delle curve, in particolare serie di forme a "V" innestate una dentro l'altra, vengono facilmente interpretate come impluvi;
- dalle isoipse è possibile risalire in modo abbastanza rapido a informazioni anche quantitative sulla pendenza e sull'esposizione;
- per la loro natura, le isoipse hanno il grande vantaggio di essere più dense dove la variazione del fenomeno è elevata e meno dense altrove;
- quando serve sono facilmente inseribili curve di livello secondarie;
- i punti quotati vengono riportati esattamente nei luoghi dove l'informazione è necessaria.

Tutto questo ha reso le isoipse un elemento base delle carte disegnate, senza le quali non sapremmo come interpretare compiutamente una zona di territorio.

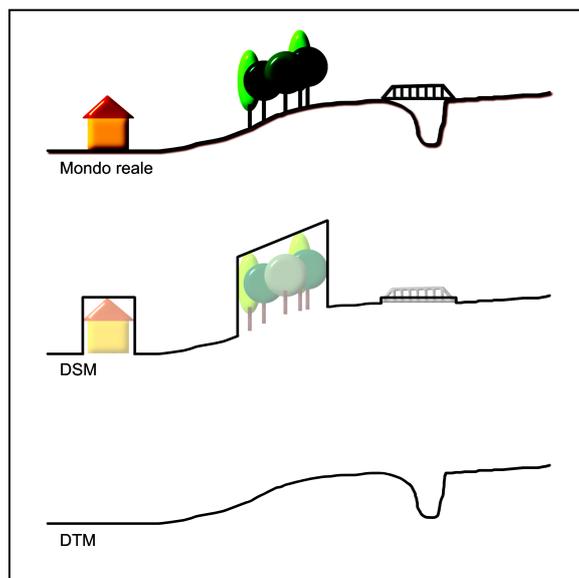
Nell'organizzare un archivio di dati territoriali, il modello corretto per memorizzare le informazioni relative alla morfologia è quello del dato raster. I dati così memorizzati si prestano molto bene ad essere elaborati, ma non altrettanto bene ad essere visualizzati, salvo ricorrere a visualizzazione tridimensionali.



Inoltre, poiché in un layer raster, i pixel hanno tutti, salvo casi eccezionali, le stesse dimensioni, avremo un "campione" per ciascuna microzona di territorio, sia che nei dintorni la quota sia pressoché costante, sia che vari in modo significativo. In pratica, data una zona a morfologia mista (pianure e rilievi), avremo pixel sempre con le stesse dimensioni, e, presumibilmente, pixel inutilmente densi nelle zone pianeggianti e pixel pericolosamente radi nelle zone montuose.

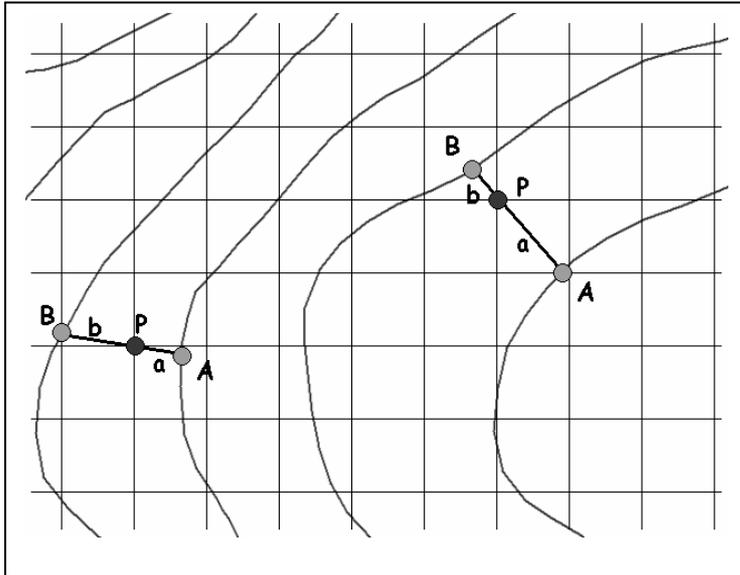
Una matrice di numeri, che esprime l'altitudine del terreno, è comunemente chiamata DEM (Digital Elevation Model) o DTM (Digital Terrain Model).

Un DEM, tuttavia, può essere inteso in due modi, a seconda degli oggetti che concorrono alla definizione di "terreno". Se consideriamo solo la superficie del terreno, trascurando manufatti come case, pali, ecc., si parla di DEM o DTM; se invece si considerano anche elementi costruiti dall'uomo si parla di DSM (Digital Surface Model). È evidente che in questo secondo caso ci troviamo a operare a scale abbastanza grandi e per fenomeni specifici (esondazioni, inquinamento acustico, ecc.).



19.2 - La costruzione di un DEM

Un modo grafico-analitico per costruire un DEM è quello che utilizza il seguente modello.



Si parte da una carta disegnata, su cui si appoggia il grigliato corrispondente alla nostra tassellazione del territorio. Dato il centro P di un pixel (e la procedura va ripetuta per ciascun centro di pixel) si traccia una linea passante per tale punto e intersecante due curve di livello a quote diverse. È importante scegliere, tra tutte le curve possibili che rispettano questa condizione, la più corta.

Si ottengono così due punti, A e B, caratterizzati da una posizione e da una quota. La quota nel punto P si otterrà facendo una semplice proporzione tra i tratti “a” e “b” della linea tracciata.

Se Q_a e Q_b sono le quote dei punti A e B, ricavabili dalle quote delle curve di livello, la quota di P sarà

$$Q_p = Q_a + (Q_b - Q_a) * \frac{a}{a + b}$$

La conoscenza delle coordinate di A e B ci permette inoltre di calcolare la pendenza associabile al punto P (tanto più lungo il tratto $a + b$, tanto minore la pendenza) e l’esposizione, legata alla direzione del segmento **A-B**.

L’algoritmo può essere perfezionato per alcuni casi in cui non è possibile tracciare la linea secondo il modello proposto.

Questo modello, abbastanza accurato, è relativamente complesso. Se il tracciamento della linea avviene manualmente esso può essere usato solo per un numero limitato di pixel.

Attualmente si ottengono modelli di elevazione del terreno direttamente da coppie di aerofotografie (ma anche da coppie di immagini telerilevate da satellite) trattate con tecniche fotogrammetriche. Per ottenere risultati di buona qualità, le due immagini che formano una coppia devono rispettare certe caratteristiche ben definite dalla fotogrammetria, relative all’altezza, all’angolo di ripresa, alla risoluzione, alla sovrapposizione.

È abbastanza comune il caso in cui si ottengono DEM a partire da curve di livello e punti quotati provenienti da dati cartografici. È questo il caso in cui sono disponibili curve di livello numeriche provenienti dalla digitalizzazione di cartografia esistente o storica, oppure da curve di livello e punti quotati forniti da appalti di cartografia numerica.

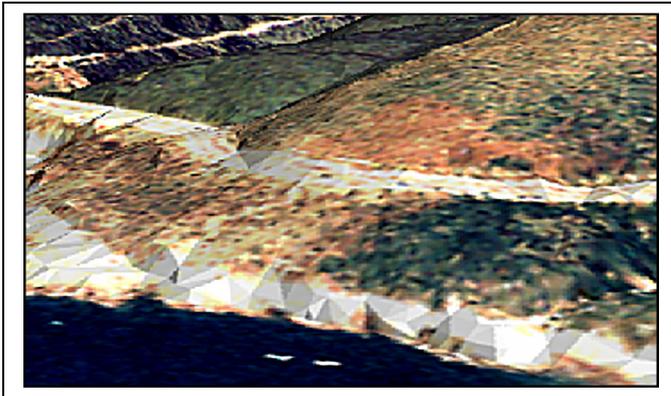
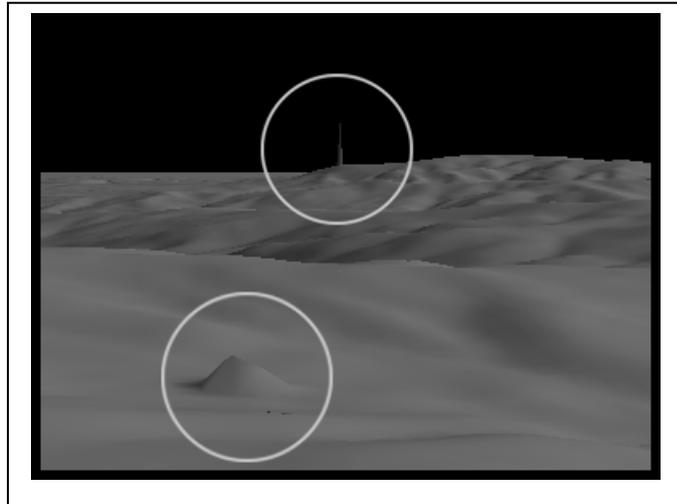
L’operazione è fatta da due passi:

- trasformazione dei dati lineari (isoipse) e/o puntuali (punti quotati) da formato vettoriale a raster; si ottiene così un DEM parziale, dove solo alcuni pixel assumono un valore mentre la maggior parte non vengono trattati;

- interpolazione spaziale, la quale assegna a ciascun pixel non trattato nel passo precedente un valore basato sui pixel cui era stato assegnato un valore.

Questo procedimento è soggetto ad una serie di errori dovuti ai seguenti fattori:

- le curve di livello originali sono, come ogni dato, affette da errore proprio
- la digitalizzazione delle curve di livello introduce un altro errore
- la trasformazione da formato vettoriale a raster risente della dimensione finita del pixel
- il processo di interpolazione è ulteriore fonte di errore, a volte con risultati inaspettati. L'utilizzo di modelli diversi può dare risultati a loro volta abbastanza diversi.



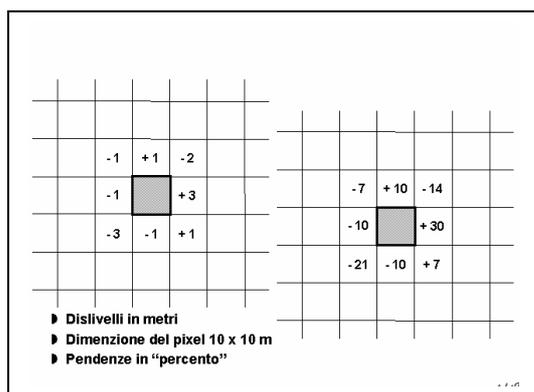
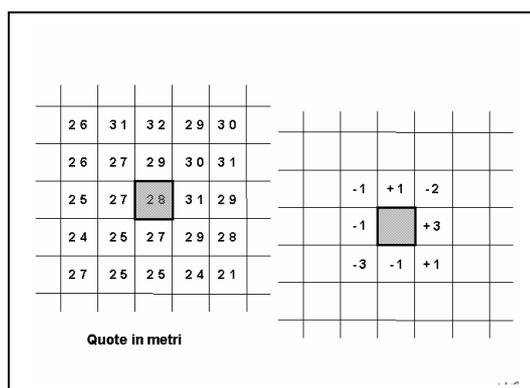
Ne consegue che un DEM costruito a partire da dati morfologici vettoriali è sicuramente affetto da errori, la cui entità è difficilmente calcolabile. Tali errori risultano evidenti quando i dati vengono rappresentati col proposito di ottenere una certa qualità visiva, e contemporaneamente si opera ad un certo livello di ingrandimento.

19.3 - Dati derivati da DEM

Da una matrice di quote è possibile derivare ulteriori dati; tra questi sono tipici le matrici di pendenza ed esposizione.

La pendenza associabile ad un pixel si ottiene dall'analisi della quota dello stesso pixel in relazione a quelli circostanti. La pendenza calcolata sarà assegnata al pixel in questione e il processo andrà ripetuto per tutti i pixel della matrice.

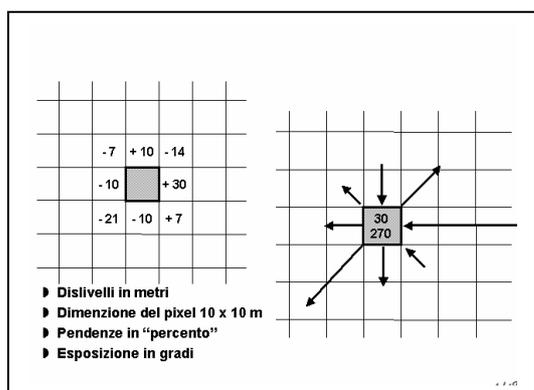
Consideriamo la matrice riportata in figura (parte sinistra) e in particolare il pixel evidenziato. Se immaginiamo di trovarci proprio in quel punto su terreno e ci spostiamo verso nord (lato alto della matrice) la quota sale di 1 m; il dislivello è quindi 1. Se ci muoviamo verso ovest scendiamo di 1 m, verso sud scendiamo ancora di 1 m, e infine verso EST saliamo di 3 m. Volendo considerare anche le direzioni intermedie, vediamo che muovendoci verso nord-ovest scendiamo di 1 m, ma occorre considerare che la differenza di quota è calcolata tra due punti che sono tra loro più distanti di quanto lo siano quelli lungo gli assi principali nord, sud, est, ovest.



È possibile così costruire una matrice 3x3 avente al centro il pixel sotto analisi e sulla cornice le differenze di quota, ricordandosi però che occorrerà normalizzare le differenze sulle diagonali.

Supponendo ancora che la dimensione dei pixel sia, ad esempio, di 10 x 10 m, possiamo costruire una matrice 3x3, sulla struttura di quella precedente, dove al posto delle differenze di quota riportiamo le pendenze, normalizzate sulle diagonali.

Infine, se tra queste 8 pendenze scegliamo la maggiore in valore assoluto, questa è la pendenza associabile al pixel considerato. Ripetendo questo insieme di operazioni per tutti i pixel della matrice, otteniamo una matrice di pendenze, espresse, in questo caso, in "percento".



La matrice di esposizione si ottiene con un procedimento analogo a quello descritto per la pendenza, con l'unica differenza che, nella fase finale, anziché utilizzare come valore finale la pendenza massima, di usa la direzione in cui si rileva la pendenza massima; nel caso considerato il valore è ovest.

Questo valore di direzione può essere espresso in gradi (8 valori possibili: 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315.) o con simboli (le 8 direzioni principali della

rosa dei venti. A questi 8 valori va aggiunto un nono, da utilizzare nel caso in cui ci si trovi in pianura. Se infatti la pendenza è zero in tutte le direzioni, o comunque la pendenza massima assume un valore molto piccolo, è corretto considerare l'esposizione come nulla.

L'algoritmo che abbiamo proposto per il calcolo della pendenza (e di conseguenza per l'esposizione) è uno di una serie di algoritmi noti. Una caratteristica negativa di questo algoritmo è quella di essere molto sensibile alle variazioni e quindi anche agli errori presenti nel DEM. Un valore errato nella matrice delle quote, molto diverso dai valori vicini, causa errori non solo nel pixel corrispondente nelle matrici di pendenza e esposizione, ma anche negli 8 circostanti; in pratica, durante l'elaborazione, l'errore si propaga espandendosi.

Un tipo di elaborazione comune e di notevole impatto visivo è quella che integra l'informazione di un DEM con altre descrizioni dello stesso territorio, sia raster che vettoriali. Il DEM viene utilizzato per creare una visione tridimensionale sopra la quale si riporta l'altra informazione. Se questa è un'immagine aerea o satellitare l'effetto finale è la vista di una zona così come la si vedrebbe volando sopra di essa con un aereo; se si utilizzano dati vettoriali si evidenziano i tematismi desiderati e se infine si usano dati ottenuti da una simulazione, il risultato è la vista di una zona di territorio, così come sarebbe se si fosse intervenuti con qualche ipotetica azione.

