

**Paolo Mogorovich**

# **Sistemi Informativi Territoriali**

**Appunti dalle lezioni**

## **Le primitive geometriche vettoriali**

**Cod.251 - Vers.E3K**

- 1 - Introduzione**
- 2 - L'area**
- 3 - La linea**
- 4 - Il punto**
- 5 - Gli attributi**
- 6 - Entità multipart**

## 1 - Introduzione

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: è il caso del limite amministrativo di un Comune che è formato da un'area principale più alcune isole amministrative, ma esistono anche situazioni più complesse: un reticolo idrografico, ad esempio, può essere formato da corsi d'acqua molto piccoli, da corsi d'acqua di grande portata e da laghi.

Di seguito ci limitiamo a discutere il caso in cui ciascuna entità territoriale di un certo layer è descritta in modo compiuto da una sola primitiva (un solo Punto, una sola Linea, una sola Area) o, come caso particolare, da un insieme di primitive dello stesso tipo.

Normalmente la trattazione delle primitive geometriche vettoriali propone prima il punto, poi la linea e quindi l'area. Questo è dovuto probabilmente ad un approccio "per complessità crescente"; da un altro punto di vista, però, si può considerare come primitiva principe l'area. Infatti ogni oggetto territoriale si caratterizza per il fatto di occupare uno spazio geografico e, nella gran parte dei casi, si usano le primitive punto e linea come semplificazioni di aree, o per motivi di precisione (scala) o per motivi di convenienza (modellazione).

Se adottiamo l'approccio di "occupazione dello spazio", ci troviamo di fronte ad un altro bivio: lo spazio può essere definito dall'oggetto che noi trattiamo (la primitiva circonda l'oggetto ed è l'oggetto che definisce lo sviluppo della primitiva) oppure lo spazio può essere considerato come "a priori"; in questo secondo caso possiamo immaginare una tassellazione regolare dello spazio, che esiste indipendentemente dagli oggetti, dove ogni singolo tassello porta certe caratteristiche relative alla presenza o anche alla non presenza di oggetti. La questione si concretizza da un punto di vista tecnologico nelle due primitive "area" e "pixel", ma riflette anche due concezioni filosofiche di spazio: uno spazio definito dalle cose che lo riempiono (visione di Leibniz) e uno spazio vuoto, dove le cose possono essere presenti (visione e Newton).

## 2 - L'Area

La primitiva Area descrive una parte di piano compresa all'interno di una linea chiusa (fig.1). Quasi tutti gli oggetti che vediamo sul territorio possono essere modellati come aree, anche se a volte non conviene usare questa primitiva.

La linea che costituisce il bordo di un'entità del mondo reale è formato da tratti diritti collegati a tratti curvi, con diversi raggi di curvatura (in fig.2 vediamo solo una parte del bordo di un'area). Nel descrivere tale linea si utilizza una spezzata, cioè un insieme di segmenti collegati tra di loro e tale spezzata sarà memorizzata come un insieme ordinato di punti nel piano geografico. Nei tratti curvi la spezzata costituisce evidentemente un'approssimazione della realtà. Questo tuttavia non è un problema perchè ogni misura è affetta da un errore, e quello che dobbiamo evitare è di non introdurre nuovi errori, o

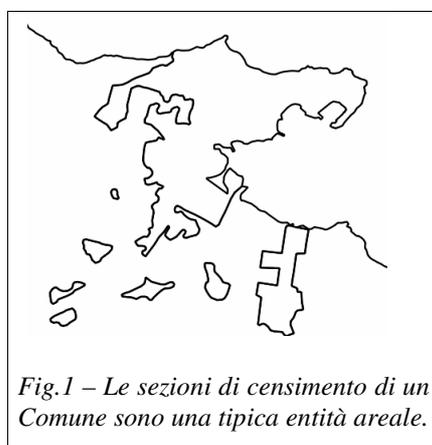
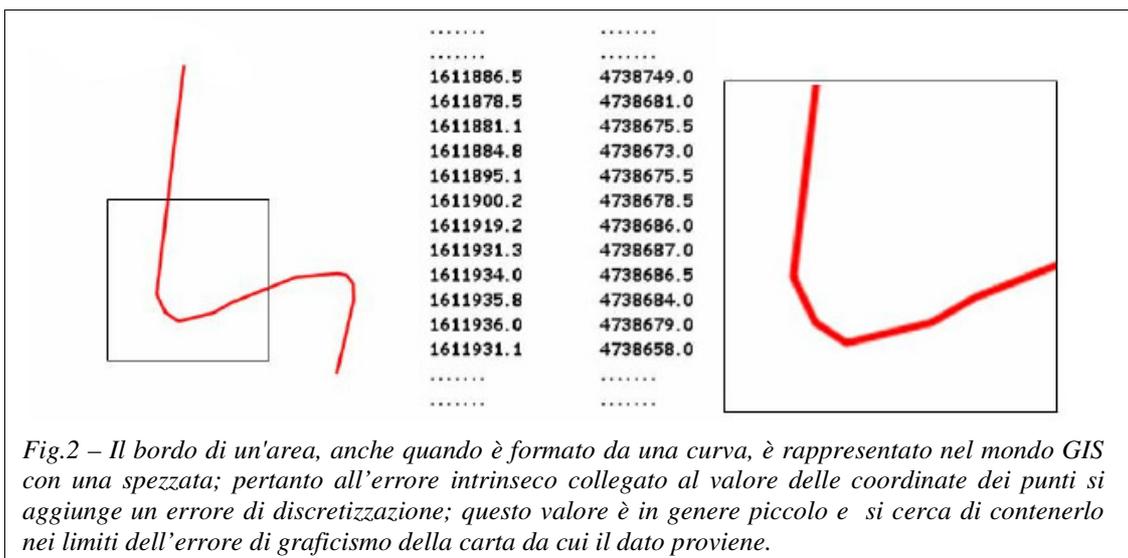


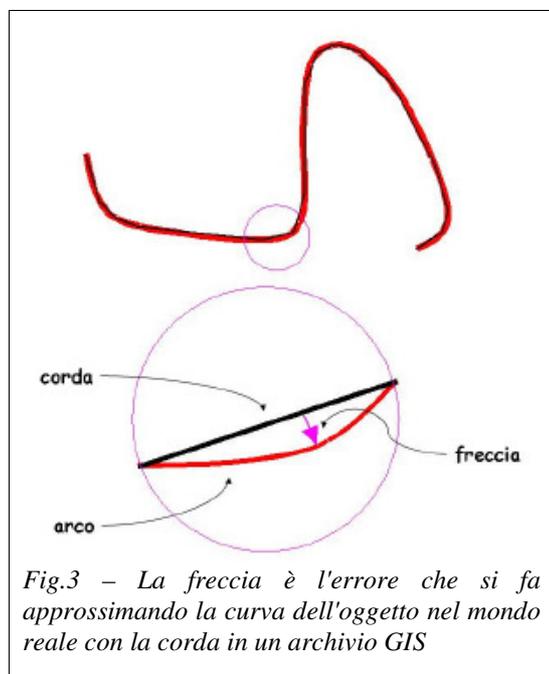
Fig.1 – Le sezioni di censimento di un Comune sono una tipica entità areale.

comunque introdurre errori piccoli rispetto a quelli esistenti; approssimare una curva con una spezzata vuol dire introdurre un errore uguale alla freccia rappresentata in fig.3. Tale distanza, nel caso di digitalizzazione di una cartografia cartacea, è di qualche decimo di millimetro, quindi minore, anche se non di molto, all'errore di localizzazione proprio della carta. Nel caso di acquisizione del dato da altre fonti (da foto aerea, da GPS o altro) l'approssimazione della curva con una spezzata è a maggior ragione accettabile. Naturalmente la freccia dipende dalla curvatura della linea e sarà tanto maggiore quanto più piccolo è il raggio di curvatura. Pertanto l'operatore che acquisisce una linea acquisirà punti tanto più densi quanto più "curva" e la linea, mentre dove la linea ha una curvatura dolce i punti potranno essere più distanti.



La rappresentazione di curve tramite spezzate rende la struttura dei dati molto semplice e di conseguenza le operazioni che trattano la geometria del dato saranno più semplici e efficienti. Inoltre in una visualizzazione alla scala nominale del dato, se la digitalizzazione è stata corretta, l'occhio umano non percepirà la presenza di vertici e vedrà la curva come continua; i vertici però saranno evidenti in caso di zoom, operazione da fare con attenzione quando si supera sul video la scala nominale del dato.

Alcuni oggetti del mondo reale hanno dei limiti che sono per loro natura "netti"; al esempio il limite di un Comune è una linea precisa sul territorio ed esprime una discontinuità, nel senso che in un tratto infinitesimo si passa da un Comune ad un altro. Questo non è vero per altri oggetti: per esempio il limite di un bosco non è definibile con questa precisione, e così un'area di rischio sismico o il limite di una zona urbanizzata; in questi casi alcune caratteristiche, proprie di un'area, cambiano in un certo intervallo spaziale che per sua natura non è infinitamente piccolo. Tornando all'esempio di un bosco, noi siamo sicuri che una certa parte di territorio è bosco, che un'altra vicina non è bosco, ma esiste una fascia intermedia, stimabile in questo caso in qualche decina di metri, in cui non possiamo esprimere un giudizio sicuro. In questo caso la primitiva area, coi suoi bordi geometrici ben netti, descrive male il fenomeno e dovremo tenerne conto quando applicheremo operatori matematici al dato. È importante notare che quanto detto non è dovuto



all'accuratezza con cui noi abbiamo acquisito il dato, la quale introduce un'ulteriore approssimazione, ma è dovuta alla natura stessa dell'oggetto rappresentato.

La primitiva area è formata da una parte geografica, che abbiamo discusso, e ad una serie di attributi. La parte descrittiva esprime valori che hanno valore per tutta l'estensione della primitiva: se di un'area a bosco ho un attributo che mi dice “castagno” e uno che mi dice “342” alberi, ne deduco che in ogni punto dell'area troverò come essenza principale il castagno e che 342 alberi saranno presenti all'interno dell'area nella sua interezza; questa osservazione relativa ad un concetto di omogeneità degli attributi rispetto alla primitiva può apparire qui banale, ma il concetto è importante nella fase di elaborazione.

### 3 – La linea

La primitiva geometrica linea è formata da una sequenza di segmenti, in modo uguale al perimetro di un'area. Se la descrizione di una linea è uguale a quella di un'area è naturale chiedersi dove sia la differenza, come si fa a distinguere che una sequenza di coordinate rappresenti una linea o un'area. Una prima risposta è quella secondo cui nella descrizione di un'area il primo punto della sequenza coincide con l'ultimo, forzando così la chiusura della figura. In realtà questa risposta non è corretta: nella rappresentazione di una curva di livello accade proprio che il primo punto della sequenza coincida con l'ultimo, eppure si tratta di una linea, non di un'area. In realtà una sequenza di punti, qualunque essa sia, proviene da un ben definito layer, che è stato creato indicando se si trattava di aree o linee; è corretto dire quindi che una sequenza di punti rappresenta una linea o un'area a seconda delle proprietà del layer in cui è memorizzata.

Per quanto riguarda le sue caratteristiche, una linea è simile ad un'area; infatti la sequenza di segmenti che rappresenta una linea approssima una realtà che sarà in genere descritta da curve, introducendo così un errore che è importante mantenere piccolo, e ancora gli attributi che sono associati ad un oggetto lineare mantengono il loro valore per tutto lo sviluppo della linea, in modo analogo a quanto accadeva per l'area.

Un questione importante è decidere in quali casi usare la primitiva linea per modellare gli oggetti del mondo reale. Se continuiamo a pensare che gli oggetti del mondo reale sono sostanzialmente areali, la prima ipotesi è quella di rappresentare con linee oggetti di per sé areali, ma concettualmente e funzionalmente di tipo lineare, e in ogni caso troppo stretti per apprezzarne la larghezza; l'esempio naturale è quello delle strade in scala 1:25000 o più piccole. Come seconda possibilità, avremo ancora oggetti areali, concettualmente e funzionalmente di tipo lineare, ma con una larghezza apprezzabile, e tuttavia decidere di rappresentarli come linee perchè, nella specifica situazione, interessa l'aspetto lineare dell'oggetto; è il caso delle strade a scale medie (1:5000 e 1:10000), o linee di trasmissione dell'energia elettrica (in pianta i tralicci dell'alta tensione possono occupare una striscia di oltre una decina di metri di larghezza, ma nella nostra modellazione interessa soltanto la struttura come mezzo di conduzione dell'energia). La terza possibilità riguarda entità del mondo reale che sono realmente delle linee, nel senso che l'oggetto non ha uno spessore, indipendentemente dalla scala; sono esempi un “percorso turistico”, una curva di livello, la “traiettoria di un volo”, un acquedotto, col sospetto comunque che si tratti in parte di nostre concettualizzazioni. La stessa linea di costa, esempio tipico di linea, è in realtà un oggetto di difficile definizione, meglio rappresentabile con una fascia. In sintesi utilizziamo la primitiva linea per modellare un'entità territoriale se:

- si tratta realmente di una linea
- è una linea alla scala a cui lavoriamo
- è una linea per l'applicazione che stiamo sviluppando.

Il caso delle strade merita una particolare osservazione. In fig.4 si osserva un reticolo stradale in cui corre, da ovest a est, con tratti

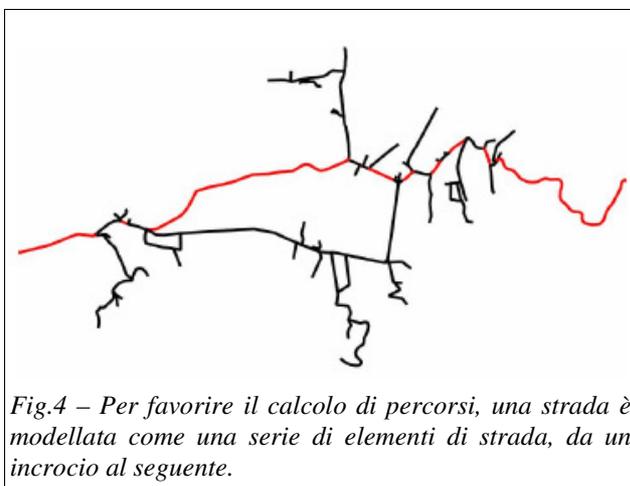


Fig.4 – Per favorire il calcolo di percorsi, una strada è modellata come una serie di elementi di strada, da un incrocio al seguente.

in rosso e nero, una strada provinciale, la num. 30 della provincia di Livorno. Si tratta di un'unica strada, ma nel modello dati essa è frammentata in una serie di tratti, a volte anche molto piccoli, tutti con gli stessi attributi. Perché non è stata usata un'unica linea per tutta la strada? La questione è che il reticolo stradale è visto come strumento per il calcolo di percorsi e quindi ogni incrocio tra strade deve essere considerato un punto dove è possibile decidere quale strada prendere. Questo implica che l'elemento base di un reticolo idrografico non è "la strada", così come si può immaginare ad esempio la Statale Aurelia, ma il singolo tratto che va da un incrocio ad un altro, anche se i tratti hanno le identiche caratteristiche.

#### 4 – Il punto

La primitiva più semplice è il punto, ed è formata da un'unica coppia di coordinate. A differenza della linea e dell'area non ci sono problemi di discretizzazione (rappresentazione approssimata di una curva tramite segmenti) e gli attributi associati all'entità si intendono concentrati in un spazio infinitesimo.

L'unico problema da affrontare è decidere quando rappresentare oggetti del mondo reale tramite la primitiva punto. Come nel caso della linea possiamo dire che utilizziamo la primitiva punto per modellare un'entità territoriale se:

- si tratta realmente di un punto
- è un punto alla scala a cui lavoriamo
- è una linea per l'applicazione che stiamo sviluppando

Ben poche entità del mondo reale sono da un punto di vista semantico veri e propri punti; uno dei pochi esempi è punto trigonometrico (anche se nella realtà non è un'entità sul territorio) o anche la cima di un monte (ma anche in questo caso si può ben dubitare che la cima del monte sia un'entità, bensì un punto singolare di un'altra grandezza). Alcune entità hanno una struttura areale, ma possono essere rappresentate come punti in quanto alla scala a cui stiamo operando l'oggetto in questione ha una dimensione inferiore ai 0.5 mm circa). Infine altre entità hanno una struttura areale, ben rappresentabile come area alla scala a cui stiamo operando, ma vengono rappresentate come punti per l'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 mappe alla scala 1:500.000 (fig.5).



*Fig.5 – Sulla mappa alcune piccole città, tecnicamente ben rappresentabili come aree, modellate in modo puntuale a causa della finalità della carta. Altri oggetti di interesse turistico, rappresentati come simboli parlanti, sono geograficamente dei punti e la stessa rappresentazione della città di Pisa, pur in qualche modo articolata, dovrebbe in questo caso essere modellata con un punto.*

#### 5 – Gli attributi

Ad ogni primitiva geometrica vettoriale sono associati attributi che descrivono le caratteristiche dell'oggetto rappresentato, secondo il modello dati adottato. Il trattamento della parte descrittiva richiede alcune considerazioni.

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). Immaginiamo, con riferimento alla fig.6, che il tratto di strada 162 venga asfaltato, ma non completamente, bensì solo la parte a sinistra in figura. Nel voler aggiornare l'archivio non possiamo attribuire un valore all'attributo “Pavimentazione”, in quanto il tratto di strada non è né completamente asfaltato, né completamente “bianco”. Non abbiamo alternative se non spezzare il tratto in due tratti e dare i valori corretti agli attributi, come in fig.7. Ci riferivamo a casi come questi parlavamo, nel par. delle aree, all'omogeneità degli attributi rispetto alla primitiva.

Numero tratto	Attributi			
	Tipo	Nome	Numero	Pavimentazione
161	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Asfaltata
162	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Bianca
163	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Asfaltata
.....	.....	.....	.....	.....

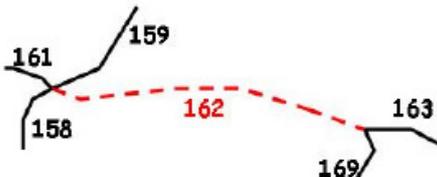


Fig.6 – Dati descrittivi e geometria di una parte di un reticolo stradale.

Numero tratto	Attributi			
	Tipo	Nome	Numero	Pavimentazione
161	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Asfaltata
163	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Asfaltata
411	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Asfaltata
412	Provinciale	“Le Palanche”	S.P. N 15	Bianca
.....	.....	.....	.....	.....

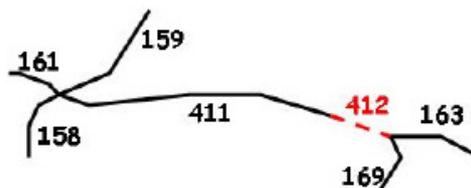


Fig.7 – Dati descrittivi e geometria di una parte di un reticolo stradale dopo un aggiornamento parziale di un tratto.

Numero area	Attributi		
	<i>Num. Abitanti</i>	<i>Dens. popolazione</i>	<i>Morfologia</i>
86	.....	.....	.....
87	3510	78	pianeggiante
88	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

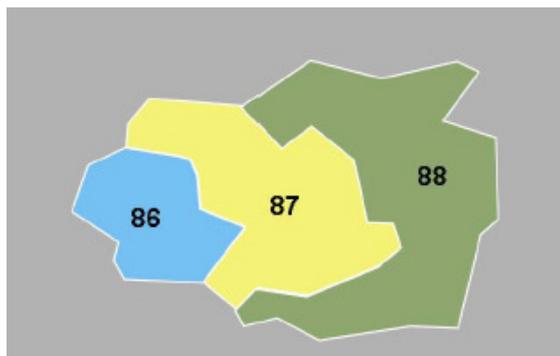


Fig.8 – Dati descrittivi e geometria di una parte di un layer areale

Esaminiamo adesso un caso più complesso. 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. Per quanto riguarda la geometria non avremo problemi utilizzando uno strumento di editing grafico fornito dal software GIS il quale, di fronte all'operazione di divisione di un'area in due, aggiornerà anche la tabella degli attributi aggiungendo una riga. L'area 87 verrà quindi spezzata nelle due aree 871 e 872 e, se il software GIS che usiamo non è particolarmente evoluto, gli attributi dell'area 87 verranno copiati tal quale nei campi corrispondenti delle aree 871 e 872 (fig.9).

L'operazione così condotta presenta ovviamente alcuni aspetti critici. Appare subito evidente che la duplicazione del numero di abitanti è un grossolano errore; gli abitanti dell'area 87 erano 3510 e, dopo l'operazione, tale valore sarà il numero di abitanti delle aree 871 e 872 insieme. La duplicazione del valore, così com'è

avvenuta, di fatto comporta la “creazione” di 3510 nuove persone. Un software meno evoluto potrebbe rispettare il valore totale e dividere i 3510 abitanti tra le due nuove aree in parti uguali o, per esempio, in proporzione all'area. Queste trovate sono ancora peggiori della precedente in quanto più subdole e meno visibili ad un esame superficiale; in realtà i dati così assegnati, pur rispettando il vincolo del totale, sono assolutamente falsi; l'errore prodotto rischia di non essere osservato a meno che il software stesso informi l'operatore di quello che sta facendo. L'attributo “Numero di Abitanti” esprime una quantità (la somma di altre entità presenti nell'entità di riferimento) e come tale prende il nome di “quantitativo”.

L'attributo morfologia caratterizza l'area in modo completo e diffuso: ogni punto dell'area 87 è considerato “pianeggiante” e pertanto le aree 871 e 872, formate da punti pianeggianti saranno anch'esse globalmente pianeggianti. L'attributo morfologia esprime una qualità dell'area e prende il nome di “qualitativo”.

L'attributo Densità di popolazione è ambiguo. Il valore dell'area 87, riportato nelle aree derivate, non causa errori di quadratura, nel senso che calcolando la popolazione totale nel layer come somma dei prodotti Area\*Densità

Numero area	Attributi		
	<i>Num. Abitanti</i>	<i>Dens. popolazione</i>	<i>Morfologia</i>
86	.....	.....	.....
871	3510	78	pianeggiante
872	3510	78	pianeggiante
88	.....	.....	.....

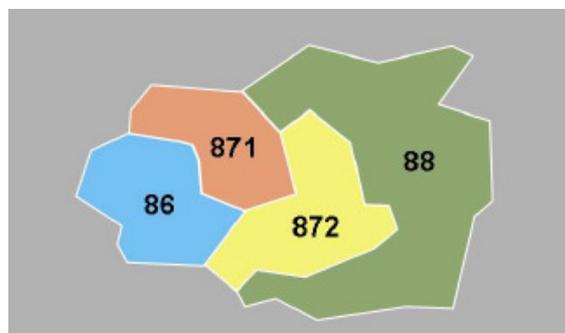


Fig.9 – Dati descrittivi e geometria di una parte di un layer areale dopo la divisione di un'entità

calcolati su tutte le aree, si ha un valore corretto; ma, come per il caso degli attributi quantitativi, il valore è arbitrario e in genere non vero.

Gli attributi che sono collegati ad una primitiva Area o Linea possono essere di tre tipi e il tipo di attributo si valuta pensando a cosa succede se si spezza la primitiva in due parti:

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

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 a causa di una variabilità della grandezza che viene mediata nell'area grande, ma non può più esserlo nelle aree derivate.

Abbiamo visto che dividendo un'area (o una linea) in due o più parti gli attributi quantitativi perdono valore; questo purtroppo accade spesso, perchè sono frequenti le operazioni GIS in cui un'area (o una linea) viene frammentata in più pezzi; se però trasformiamo gli attributi quantitativi in "densità" (le densità sono il rapporto tra un attributo quantitativo e una superficie per le aree o una lunghezza per le linee) possiamo eseguire certe operazioni degradando di molto l'informazione, ma mantenendo perlomeno la quadratura dei valori. Questa operazione equivale, nel caso di divisione in due di un'area, a dividere un attributo quantitativo in modo proporzionale alla superficie delle aree derivate.

## **6 – Entità multipart**

Finora abbiamo limitato la nostra discussione al caso in cui un'entità territoriale è descritta in modo compiuto da una sola primitiva (un solo Punto, una sola Linea, una sola Area); esiste però anche la possibilità che entità possano essere descritte da due o più primitive dello stesso tipo. Può essere utile trattare, ad esempio, definire un sito archeologico come un insieme di punti, ciascuno corrispondente ad un singolo scavo oppure definire un "Comune" come un'area principale e una serie di altre piccole aree, caso questo frequente per i comuni che comprendono alcune isole.

Molti software GIS gestiscono primitive multipart e, in modo ovvio, abbiamo primitive "multipoint" nel caso di più punti, primitive "linee multipart" o "multipart polyline" per le linee, primitive "aree multipart" o "multipart polygon" per le aree. Gli attributi associati ad una primitiva multipart valgono per tutti gli elementi che costituiscono la primitiva: p.es. se un Comune con isole, rappresentato da un'area multipart, è classificato pianeggiante e ha 770 abitanti si intende che ogni singola areola del comune è pianeggiante e che i 770 abitanti sono distribuiti in modo ignoto fra tutte le aree. Trasformare, con qualche algoritmo, una primitiva multipart in una singlepart presenterà i problemi che abbiamo visto nella seconda parte del paragrafo precedente.