

Cos'è il GIS ?

Premessa

Questa dispensa intende presentare una breve introduzione al mondo dei GIS (Geographical Information Systems) o Sistemi Informativi Geografici e costituisce una riedizione di un breve corso sui GIS pubblicato da "Mondo AutoCAD". Essa affronta le diverse problematiche del mondo dei GIS: il modello dei dati (georeferenziazione, scale, grafica raster e vettoriale, topologia, terza dimensione, attributi e data base, ecc.), i dati (classificazione, fonti, disponibilità, diffusione, integrazione di dati raster e vettoriali), le funzioni e gli operatori GIS (overlay topologico, buffering, analisi di rete, segmentazione dinamica, operatori raster e tridimensionali, interfaccia utente e programmabilità) e le applicazioni ed è completata da un glossario che spiega in ordine alfabetico i termini più utilizzati nel settore. Il linguaggio, volutamente descrittivo, subordina a volte la precisione scientifica all'obiettivo di una più ampia comprensione delle basi di questa materia che sta diventando sempre più centrale in una sempre più vasta area di applicazioni, dalla pianificazione territoriale al geomarketing.

Il modello dei dati

Allo scopo di rappresentare e gestire le informazioni spaziali mediante un GIS, è necessario utilizzare una rappresentazione dei dati che sia sganciata dalla realtà fisica; questo viene realizzato definendo un modello dei dati che sia abbastanza ampio da accogliere al suo interno tutti gli oggetti che esistono nel mondo fisico (aree, linee, punti, quote, ecc.) e che sia sufficientemente elastico da permettere di adattarlo a tutte le combinazioni che effettivamente occorrono nella realtà. Rispetto ad una rappresentazione puramente geometrica degli oggetti presenti nella realtà, ad un GIS viene richiesto di mantenere e gestire tutte le informazioni che riguardano le mutue relazioni spaziali tra i diversi elementi, come la connessione, l'adiacenza o l'inclusione, cioè di strutturare i dati definendone anche la topologia. Oltre a questi due aspetti geometrico e topologico, il modello dei dati, per essere efficace, deve prevedere l'inserimento al suo interno dei dati descrittivi dei singoli oggetti reali, definibili come attributi. Questi tre insiemi di informazioni (geometria, topologia, attributi) vengono poi effettivamente implementati in un GIS mediante uno specifico modello fisico, che oggi si basa su strutture dei dati di tipo relazionale, tipiche dei data base più evoluti e su architetture hardware e software di tipo client/server, tipicamente in reti locali di elaboratori. Caratteristica fondamentale di un GIS è la sua capacità di georeferenziare i dati; ovvero di attribuire ad ogni elemento le sue coordinate spaziali reali. In altre parole, le coordinate di un oggetto non sono memorizzate relativamente ad un sistema di riferimento arbitrario (ad esempio 12 centimetri dal bordo inferiore e 5 da quello sinistro di una mappa) né relativamente al sistema di coordinate della periferica usata, come la tavoletta digitalizzatrice o il video, ma sono memorizzate secondo le coordinate del sistema di riferimento in cui realmente è situato l'oggetto (come 121° 27' lat. E long. N utilizzando il sistema geografico) e nelle reali dimensioni, non in scala. La scala di rappresentazione diventa a questo punto solamente un parametro per definire il grado di accuratezza e la risoluzione delle informazioni grafiche, e quindi utilizzabili ad esempio per definire la densità di rappresentazione: ad una scala minore, elementi come gli edifici non vengono rappresentati e compaiono gli isolati o le aree urbanizzate.

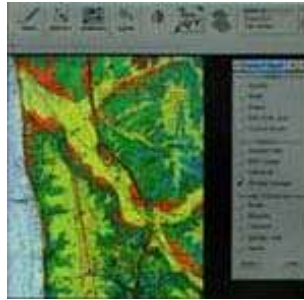
I sistemi di proiezione

L'aver introdotto il concetto di sistema di riferimento porta immediatamente ad accennare l'uso delle proiezioni cartografiche. Mediante le proiezioni o rappresentazioni siamo in grado di rappresentare la superficie approssimativamente sferica della Terra su di un piano pur mantenendo alcune proprietà geometriche quali l'isogonia, l'equivalenza o l'equidistanza; tra le più utilizzate, oltre alla rappresentazione geografica (che in effetti non è una proiezione ma solo un sistema di riferimento) vi sono l'U.T.M., la Gauss-Boaga, la Lambert (queste utilizzate anche in Italia) oltre alla conica, polare, stereografica e diverse altre.



Le carte geografiche sono piatte ma le superfici che esse rappresentano sul globo sono curve. Il concetto di proiezione è, quindi, richiesto per rappresentare uno spazio tridimensionale su una carta a due dimensioni. Una carta geografica accurata dovrebbe indicare in legenda il nome ed i parametri del sistema di proiezione adottato. Durante il processo di proiezione dei dati reali su un foglio di carta sono introdotti inevitabilmente degli errori. Anche i più accurati sistemi di proiezione comportano distorsioni di almeno

una delle caratteristiche geografiche: forma, area, direzione, distanza.



Una distinzione tra i diversi sistemi di proiezione viene operata proprio sulla base delle caratteristiche del mondo reale rispettate: le proiezioni equivalenti preservano le aree, le proiezioni conformi gli angoli, quelle equidistanti le distanze tra punti determinati. Ne consegue che non esiste un sistema di proiezione preferibile in assoluto e che l'adozione di un sistema piuttosto che un altro dipende dall'uso cui è destinata la cartografia e dalla zona da rappresentare.

Il primo passo nel processo di proiezione è quello di individuare uno o più punti di contatto tra la terra e la superficie di proiezione, orientando quest'ultima in maniera secante o tangente rispetto al globo. La localizzazione del punto o della linea di contatto tra le due superfici è importante poiché si tratta del punto o della linea a distorsione zero. In generale, le distorsioni aumentano con la distanza dalla zona di contatto.

I sistemi di riferimento

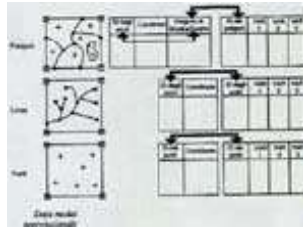
Per ogni proiezione viene definito anche un sistema di riferimento, utilizzato per il calcolo delle coordinate. Ad esempio nel sistema UTM si utilizzano spicchi predeterminati ampi sei gradi in latitudine detti fusi con un sistema di coordinate ortogonali all'interno di ogni fuso (l'Italia è a cavallo dei fusi 32, 33 e 34); nella Gauss-Boaga, il riferimento è il meridiano passante per Monte Mario (a Roma) e vengono utilizzate coordinate chilometriche misurate convenzionalmente partendo da 1500 a sinistra e da 2520 a destra del meridiano di riferimento. La maggior parte delle carte geografiche riporta l'indicazione del sistema di coordinate adottato. Un sistema di coordinate è, in pratica, un sistema di misurazione degli elementi su una superficie. Esistono fondamentalmente due standard: un sistema di riferimento basato su una superficie piana ed un altro basato su una sfera. Il sistema di coordinate rettangolare, o cartesiano (spesso usato per individuare localizzazioni nella geometria piana) utilizza come riferimento due assi ortogonali (x e y), la cui intersezione costituisce l'origine del sistema e la localizzazione $x=0$, $y=0$. Tutte le posizioni sul piano sono individuate da due valori (positivi o negativi), che specificano rispettivamente la posizione orizzontale e verticale con riferimento all'origine del sistema. Questi due valori sono indicati come coordinata x e coordinata y . Le coordinate sferiche sono misurate in latitudine e longitudine: considerando la terra come una sfera, latitudine e longitudine sono angoli misurati dal centro della terra ad un punto sulla superficie. Latitudine e longitudine sono tradizionalmente misurati in gradi. In latitudine: 01 indica l'Equatore, 90 il Polo Nord e -90 il Polo Sud. In longitudine: 01 indica il Primo Meridiano, che parte dal Polo Nord, passa per Greenwich (in Inghilterra) e termina al Polo Sud. La longitudine è misurata positivamente fino a 180°, spostandosi da Greenwich verso est, e negativamente in caso contrario. Come si può immaginare leggendo gli esempi sopra riportati, la necessità di rispondere a diverse esigenze cartografiche ha reso necessario lo sviluppo di programmi di conversione da un sistema di coordinate ad un altro, disponibili in un numero sempre maggiore. L'archiviazione dei dati, una volta definito il sistema di riferimento ed il modello dei dati, avviene normalmente utilizzando due formati: vettoriale e raster. Per dati vettoriali si intendono dati geometrici memorizzati attraverso le coordinate dei punti significativi degli elementi stessi: ad esempio un cerchio potrebbe essere memorizzato attraverso le coordinate del suo centro e la misura del suo raggio. Per dati raster si intendono invece dati memorizzati tramite la creazione di una griglia regolare in cui ad ogni cella (assimilabile ad un pixel) viene assegnato un valore alfanumerico che ne rappresenta un attributo: in questo modo, per esempio, aree possono essere rappresentate da insiemi di celle adiacenti con lo stesso valore. I valori assegnati alle celle possono rappresentare sia singoli fenomeni naturali od antropici (temperatura, uso del suolo, ecc), sia il risultato della combinazione di più informazioni attraverso metodologie di analisi (ad es: la risultante, per ogni cella, della combinazione di temperatura, direzione del vento, tipo di copertura vegetale) od anche semplicemente attributi grafici come la tonalità di grigio od il colore.

I dati vettoriali

I dati, all'interno di un GIS, sono memorizzati secondo diverse strutture dati, spesso proprietarie; allo scopo di permettere il dialogo ed il trasferimento dei dati tra i diversi sistemi sono stati definiti diversi formati di trasferimento. Tipici dati memorizzati in formato vettoriale sono quelli che provengono dalla digitalizzazione manuale di mappe, dai rilievi topografici con strumenti di campagna, dai CAD, dai GPS (Global Positioning Systems), ed i relativi standard di trasferimento più comuni sono il DXF e l'IGES; più specificatamente per la cartografia esistono l'NTF (National Transfer File), VPF, IGDS, DIGEST. Tipici dati raster sono quelli generati dagli scanner e dai programmi di interpretazione di immagini come quelli utilizzati per le immagini da satellite. In tale caso gli

standard più comuni sono TIFF, RLC, LAN, BIP, GRASS e GRID, spesso utilizzati in diversi campi di applicazione. Come per i sistemi di proiezione, anche per i diversi formati di trasferimento dei dati vettoriali e raster esistono nei sistemi GIS più completi programmi che consentono di convertire da e verso i formati più diffusi. Volendo approfondire le problematiche legate alla conversione fra formati vettoriali GIS e CAD bisogna ricordare che i dati vettoriali GIS sono sempre accompagnati da informazioni topologiche, e che quindi la conversione tra i due formati deve seguire procedure particolari. Questa che sembra una precisazione superflua è invece una regola spesso dimenticata; ad esempio, in un CAD, un rettangolo, magari rappresentante una piscina

- 1.o un campo da tennis, non deve necessariamente essere delimitato da una poligonale chiusa. Infatti l'importante per un CAD è poter riprodurre quel rettangolo su un plotter
- 2.o a video.



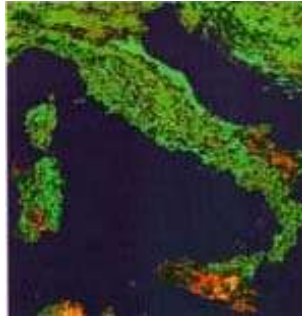
Per un GIS, invece, il rettangolo è una piscina, con le sue coordinate reali, il valore della sua superficie ed i suoi attributi (profondità, nome del proprietario, ecc.): pertanto è memorizzato come una area chiusa e quindi gli archi che lo delimitano devono essere necessariamente connessi. Ecco perchè nel convertire i dati relativi a quel rettangolo da un CAD verso un GIS occorre ricostruire la topologia dell'oggetto, oltrechè calcolarne alcuni attributi (perimetro, superficie, ecc.), cosa che il software può fare (definendo tolleranze per la chiusura dei poligoni, regole formali per la condivisione di primitive grafiche, ecc.) ma che spesso richiede l'intervento di un operatore.

I dati raster

Nel caso di dati raster, invece, entrano in gioco tre fattori: la risoluzione, la compressione e la registrazione. La risoluzione dipende dalla fonte dei dati; ad esempio le immagini ottenute con il satellite per il telerilevamento LANDSAT 4 possono avere una risoluzione al suolo fino a 30 x 30 m mentre quelle ottenute dal satellite SPOT hanno una risoluzione fino a 10 x 10 m. Questi sono solo due esempi, dato che la risoluzione dei dati raster può variare moltissimo. Nel caso di immagini raster ottenute da scanner parleremo infatti di risoluzioni nell'ordine di centinaia di dpi (dots per inch) e quindi di risoluzione molto alta. Nel caso di griglie costruite appositamente per l'analisi territoriale, ad esempio contenenti dati relativi alla temperatura al suolo, la risoluzione dipenderà dalla metodologia scelta per la raccolta dei dati e dalla ampiezza della area di studio. Tipicamente in questi casi si parla di risoluzione dell'ordine delle decine di metri al suolo.



Per compressione si intende invece la capacità di comprimere i dati raster (generalmente essi richiedono da cento a mille volte più spazio di quelli vettoriali) per renderli più maneggevoli. Ad un primo livello, una tecnica di compressione consiste nel memorizzare il numero dei pixel uguali invece che memorizzarli brutalmente in sequenza. Ad esempio, considerata una figura in bianco (B) e nero (N), invece che rappresentare la prima riga di un foglio conBBBBBBNNNNNNNNNNNNBBBBB, la si memorizza come 7B3N1B10N5B. Il vantaggio ottenuto nella memorizzazione viene chiaramente compensato dai tempi di compressione e decompressione del dato che deve essere sempre decompresso prima dell'utilizzo.



Per registrazione si intendono le tecniche necessarie a georeferenziare e raddrizzare le immagini raster. Infatti le foto aeree e le immagini da satellite, oltre a dover essere posizionate correttamente (facendo collimare le coordinate dei punti noti a terra con quelle degli oggetti presenti nell'immagine), devono anche essere ortogonalizzate cioè ricalcolate tenendo conto dell'angolo da cui sono state prese. Oggi sono disponibili programmi che, oltre a fare questo, garantendo così la possibilità di visualizzare, in sovrapposizione, immagini raster con i corrispondenti dati vettoriali, sono anche in grado di interpretare le immagini identificando e visualizzando ad esempio i pixel in base ai parametri qualitativi misurati nelle varie bande (umidità e temperatura al suolo, ecc.).

Nel modello dei dati di un GIS, oggi i dati vettoriali e i dati raster coesistono e si integrano a vicenda, e sono generalmente usati i primi per dati discreti e i secondi per dati continui (ad esempio rete viaria vettoriale derivata dalla cartografia per i primi e umidità al suolo derivata da immagini da satellite per i secondi). Inoltre sono disponibili programmi in grado di convertire in modo più o meno automatico dati raster in vettoriali e viceversa. Entrambi i tipi di dati possono essere associati ad attributi: per i primi saranno legati alle primitive grafiche e agli oggetti, per i secondi ai singoli pixel.

La modellazione tridimensionale

Un'altra importante caratteristica del modello dati di un GIS è la capacità di gestire oggetti tridimensionali: non stiamo parlando di un attributo che indichi l'altezza di un oggetto, ma di un sistema a tre coordinate reali. I modelli tridimensionali sono generati in due modi: quando si dispone di un insieme sparso di elementi quotati, si utilizza generalmente un algoritmo che crea un TIN (Triangulated Irregular Network), costruendo una rete di triangoli i cui vertici sono costituiti dai punti di cui si conoscono le tre coordinate; se si dispone invece di un insieme di punti quotati ordinati in griglie a passo regolare è possibile generare un DTM (Digital Terrain Model) o DEM (Digital Elevation Model). A partire da un TIN, un DTM o un DEM è possibile interpolare curve di livello, effettuare analisi di visibilità, generare profili longitudinali, effettuare analisi di pendenza e di esposizione, clivometrie, generare viste 3D, ecc. Ma soprattutto è possibile calcolare lunghezze reali e non ridotte all'orizzonte, dato che elementi come ad esempio le strade, hanno un andamento altimetrico, non sono "piatte".

Gli attributi

In ogni caso l'elemento più importante del modello dati di un GIS rimangono sempre gli attributi. Infatti una applicazione per cartografia ha l'obiettivo principale di riprodurre su carta delle cartografie, mentre un GIS ha il suo obiettivo principale nell'analisi dei dati, per diventare uno strumento di supporto alle decisioni. L'utente di un GIS non ha solo bisogno di restituire una carta delle zone edificate, quanto di rappresentare un tematismo, ad esempio, retinarla in funzione dell'età media della popolazione residente. Per ottenere questo potrebbe interrogare una banca dati di tipo relazionale: per esempio, ad ogni edificio potrebbe essere associato un indirizzo, mentre in un'altra data base (quella anagrafica) ad ogni indirizzo potrebbe essere associata la data di nascita delle persone che vi risiedono. Tramite quindi l'informazione "Indirizzo" si potrebbe creare una relazione tra i due data base ed effettuare un'analisi relativa all'età media restituendola poi graficamente su carta. Dalla stessa analisi si potrebbe poi derivare un nuovo tematismo relativo all'anzianità dei residenti e utilizzandolo in sovrapposizione al tematismo relativo alla carta dei bacini d'utenza dei centri anziani del Comune o dei servizi materno-infantili dell'Unità Sanitaria Locale, verificare la congruenza tra bacini d'utenza dei servizi (offerta) e potenziale utenza (domanda) per poi decidere eventualmente un nuovo piano d'azione o di sviluppo. Gli attributi che possono risiedere anche su più sistemi ed essere aggiornati da molti applicativi (nel caso precedente sono aggiornati dall'ufficio anagrafe e utilizzati da quello di pianificazione dei servizi), sono in genere memorizzati su dei data base relazionali ed interrogabili mediante linguaggi di tipo SQL (Structured Query Language).



Una struttura relazionale del data base accuratamente progettata permette di effettuare diverse analisi sui dati senza essere costretti in percorsi obbligati. In altre parole, oggi possono essere estratte le date di nascita, domani si potrà condurre un'analisi sulla numerosità dei nuclei familiari e quindi una simulazione del carico della rete fognaria o della domanda di servizi scolastici. La capacità di integrare, nel modello dati di un GIS, attributi provenienti da diversi data base anche raggiunti in rete locale o geografica mediante strutture relazionali e secondo formalismi SQL è oggi una necessità imprescindibile.

Panorama delle funzioni e degli operatori GIS

Nei capitoli precedenti di questo breve corso sui GIS sono già state affrontate le differenze tra i sistemi CAD ed i GIS, relativamente alla tipologia dei dati che vengono gestiti da ciascuno di questi sistemi. Se una organizzazione dei dati di tipo topologico caratterizzava già i sistemi GIS, la loro capacità di effettuare operazioni di analisi spaziale li distanzia ulteriormente e definitivamente dal mondo dei sistemi nati per effettuare operazioni di sola cartografia e disegno al computer.



Operazione	Descrizione	Sintassi	Esempio
Buffer	Operazione che crea una zona di influenza (buffer) attorno a un oggetto geografico.	Buffer (oggetto, distanza)	Diagramma che mostra un rettangolo con una zona di influenza (buffer) attorno ad esso.
Intersezione	Operazione che estrae l'area comune a due o più oggetti geografici.	Intersezione (oggetto1, oggetto2)	Diagramma che mostra due rettangoli sovrapposti e l'area comune risultante.
Unione	Operazione che unisce due o più oggetti geografici in un unico oggetto.	Unione (oggetto1, oggetto2)	Diagramma che mostra due rettangoli sovrapposti e l'area risultante dalla loro unione.

Mediante tale analisi, partendo dalle informazioni esistenti nel nostro database geografico, possono essere creati nuovi livelli informativi, associando i dati in maniera da identificare relazioni prima non chiaramente visibili. Tipico esempio sono le analisi effettuate con la semplice sovrapposizione di più livelli informativi (overlay) come l'uso del suolo ed i dati catastali, allo scopo di identificare, per ogni proprietà (particella catastale), la tipologia di uso del suolo. Analisi più sofisticate possono essere effettuate con la combinazione di diversi operatori anche estremamente complessi che operano sui dati sia bidimensionali sia tridimensionali.



Una categoria a parte sono gli operatori specializzati per la gestione e l'analisi delle reti a grafo che operano su una struttura dati topologica di tipo lineare avente degli attributi alfanumerici particolari, necessari ad effettuare le analisi di connettività, minimo percorso, allocazione di risorse ecc. tipiche delle reti a grafo. Data la crescente importanza che sta avendo la gestione ed analisi delle reti, si pensi alle reti di distribuzione di acqua e gas, alle reti elettriche e telefoniche, alla gestione del traffico stradale (e sono solo alcune tra le possibili applicazioni di un GIS alla gestione delle reti) particolare sforzo è stato fatto per estendere le funzionalità di tali sistemi nel settore.

In tempi assai recenti ad esempio è stata proposta una estensione del modello topologico lineare denominata segmentazione dinamica (dynamic segmentation); mediante tale estensione e le relative nuove funzioni disponibili per la sua gestione, alla struttura topologica fisica è possibile sovrapporre una nuova topologia, definita in maniera logica, senza la necessità di modificare i dati presenti nel database. La possibilità data da un modello dei dati, come quello georelazionale, di poter essere esteso senza la necessità di riformulare radicalmente la sua struttura, dimostra ancora una volta la validità della sua scelta come struttura di base per un Geographical Information System.

Overlay topologico

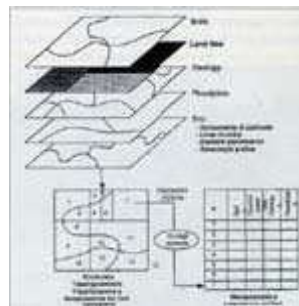
Probabilmente le funzioni di overlay sono state le prime ad essere implementate in un GIS, e rimangono ancora oggi le funzioni di base in questi sistemi. Concettualmente si tratta di funzionalità molto semplici ma solamente una struttura dei dati completamente topologica permette di realizzarle in modo efficace. Infatti il risultato della sovrapposizione di diversi livelli informativi non deve essere solamente visuale, cioè si possono vedere gli elementi sovrapposti ma devono soprattutto essere a livello degli attributi, che devono essere riportati da un livello informativo all'altro, in corrispondenza degli elementi corrispondenti. Le sovrapposizioni (overlay)

possono essere suddivise in tre categorie principali: punti su poligoni, linee su poligoni e poligoni su poligoni: comune a tutte le operazioni di overlay è che almeno uno dei due tematismi considerati sia di tipo poligonale. Se ad esempio poniamo, come livello poligonale, una carta dell'uso del suolo, mediante le funzioni di overlay possiamo attribuire la tipologia del suolo in cui cade ad esempio un traliccio elettrico (punto su poligono), un tratto di strada (linea su poligono), un fabbricato (poligono su poligono). Il nuovo livello informativo conterrà, oltre che tutti gli attributi rispettivamente del traliccio, della strada o del fabbricato, anche tutte le informazioni che sono associate alla carta poligonale dell'uso del suolo. Mediante questi operatori sono possibili sofisticate analisi di tipo ambientale e scientifico: si pensi, in campo geologico, alla possibilità di sovrapporre carte diverse riportanti informazioni sulla geologia, la copertura vegetale, l'acclività, la fratturazione della roccia, per determinare le zone potenzialmente predisposte al dissesto; tali analisi, tipiche delle scienze ambientali, risultano grandemente facilitate dalla presenza degli operatori di overlay.

Il buffering

Quante volte si devono determinare delle aree di rispetto intorno a specifici elementi geografici? Le linee elettriche ad alta tensione prevedono delle fasce di rispetto di oltre 250 metri per parte; le leggi ambientaliste prevedono l'inedificabilità entro una specifica distanza dalle rive di corsi d'acqua, laghi e mare; un ponte ripetitore copre un'area con un determinato raggio.

La risposta a questi specifici problemi viene agevolmente data da un GIS che disponga delle funzioni di buffering, in grado cioè di creare un'area di rispetto intorno agli elementi geografici che sono presenti nel database. La possibilità di modulare questa operazione a seconda delle necessità dell'operatore dà modo di risolvere, con pochi passaggi, problemi altrimenti difficilmente risolvibili; ad esempio la capacità di effettuare buffering asimmetrici rispetto, ad esempio ai due lati di un elemento lineare oppure di effettuare un buffering parametrizzato a seconda delle caratteristiche dell'elemento: per creare fasce di rispetto intorno alle linee elettriche, si può usare come parametro discriminante la tensione di esercizio, creando fasce maggiori per tensioni maggiori della linea.



Una volta creata la fascia di rispetto che sia intorno ad un punto, linea o poligono, il risultato è sempre un livello informativo di tipo poligonale, che può essere utilizzato per successive analisi; ad esempio, effettuando l'overlay della carta della vegetazione con le fasce di rispetto create intorno ad una strada in costruzione, può essere valutata la superficie e la tipologia della vegetazione coinvolta nel progetto.

L'analisi di rete

Lo spostamento delle persone, il trasporto e la distribuzione di beni e servizi, la distribuzione dell'energia, le comunicazioni: tutte queste attività prevedono lo spostamento di materia o di informazioni mediante dei sistemi di reti, che sempre più costituiscono una delicata e vitale infrastruttura del mondo di oggi.



La forma, la capacità e l'efficienza delle reti ha quindi un impatto non trascurabile sull'attuale standard di vita e comunque influenza la nostra visione del mondo. Le funzioni principali che possono essere effettuate mediante un GIS sulle reti, di qualsiasi tipo esse siano (trasporto, distribuzione, comunicazione, ecc.) sono fondamentalmente la ricerca del minimo percorso su una rete o comunque del percorso meno costoso; l'allocatione di porzioni della rete ad un fornitore o consumatore di risorse; la verifica delle connettività tra due punti della rete.

Minimo percorso: le funzioni di analisi di rete offrono la soluzione ad un problema di base: determinare il percorso minimo o comunque il più efficace per attraversare una rete passando per determinate località di questa. Il costo può essere determinato utilizzando un qualsiasi attributo presente sugli elementi costituenti la rete (tipicamente, una rete a grafo è rappresentata mediante archi connessi tramite nodi; questa può anche essere la rappresentazione di una rete stradale, simboleggiata con gli archi che indicano l'asse stradale ed i nodi che indicano gli incroci) che possa essere quantificato in maniera numerica: tipico esempio la distanza o il tempo di percorrenza lungo un arco del grafo può essere utilizzato per identificare il minimo percorso in termini di distanza o di tempo, ad esempio, lungo una rete viaria. Allocazione di risorse: per effettuare queste analisi bisogna disporre di un centro che offra risorse e di una domanda di queste sulla rete, o viceversa, di una offerta sulla rete e di una capacità ricettiva su di un centro. A titolo di esemplificazione, mediante l'uso delle funzioni di allocazione, secondo questa ultima modalità può essere affrontato e risolto un problema tipico della gestione pubblica di una città, ovvero la raccolta dei rifiuti solidi urbani. Questa analisi viene effettuata rappresentando una eventuale discarica come centro di raccolta, e riportando la distribuzione dei cassonetti sul grafo che rappresenta la rete viaria cittadina: in questo modo si può determinare il numero massimo di cassonetti che, svuotati mediante i mezzi di raccolta, determinano la saturazione della discarica, ed anche identificare quali parti della rete stradale contribuiscono ad alimentare la discarica fino alla sua saturazione. Operazioni analoghe possono essere effettuate per allocare studenti su scuole oppure determinare piani di evacuazione in caso di calamità, allocando la popolazione sulle strutture di ricovero, ecc. Connettività: le funzioni per la verifica della connettività servono ad identificare se e quali porzioni di una rete sono connesse. Ad esempio, una società per la gestione delle reti elettriche può avere bisogno di sapere quale impianto presente sulla rete elettrica serve un determinato utente, e nel caso di interruzione o guasto quale percorso alternativo può essere adottato per mantenere la funzionalità del sistema. Analogamente un idrologo può utilizzare tali funzionalità per identificare tutti i rami ed i corsi d'acqua a monte di un determinato punto di un fiume.

La segmentazione dinamica

Gli elementi lineari, in una visione del mondo di tipo geografico, raffigurano oggetti come strade, fiumi o limiti amministrativi. Utilizzando l'estensione al modello dati di tipo georelazionale chiamata segmentazione dinamica, è possibile rappresentare tali elementi lineari ed associare delle informazioni, gli attributi, a qualsiasi porzione degli archi che rappresentano tali elementi. La segmentazione dinamica è la capacità di associare diversi insiemi di attributi a qualsiasi segmento di un elemento geografico lineare senza dover cambiare la struttura fisica di questo: posso quindi attribuire informazioni diverse a porzioni diverse di un arco senza dover effettivamente spezzare fisicamente l'arco. Infatti, la rappresentazione all'interno di un GIS di elementi geografici come un reticolo stradale o fluviale viene effettuata memorizzando una serie di coordinate X, Y in un dato sistema di riferimento. Ma un altro metodo per identificare la posizione di un elemento geografico potrebbe essere anche la sua posizione lungo una strada od un fiume (ad es. "al 12esimo chilometro dell'autostrada A14"). Questo metodo semplifica enormemente l'acquisizione dei dati, in quanto consente di memorizzare e gestire solamente una coordinata di posizione invece che due e di usare un sistema di riferimento più vicino alla realtà dell'utilizzatore finale. Le funzionalità di segmentazione dinamica (nota: si tratta di funzionalità e non di modalità di memorizzazione di dati, in quanto la struttura dei dati rimane la medesima di quella utilizzata per memorizzare dati di tipo lineare ma viene estesa mediante opportune procedure software che implementano queste nuove potenzialità) permettono quindi di rappresentare e gestire in maniera estremamente efficace delle informazioni associabili ad elementi geografici lineari. Ad esempio, i dati relativi ad un reticolo stradale, quali lo stato della pavimentazione, la frequenza degli incidenti, i limiti di velocità possono essere tutti associati al medesimo grafo che rappresenta la rete stradale. Alla base della segmentazione dinamica vi è la definizione della route, che rappresenta un elemento lineare a cui possono essere associati degli attributi; la route può essere costituita da un insieme di archi, ma senza la costrizione che il suo inizio o fine debbano coincidere con il nodo iniziale o finale di un arco, cioè può comprendere anche parti di un arco. In questo modo possono essere associati attributi a più archi oppure a parte di un arco, nel caso che la route sia definita solo su una porzione di esso. La disponibilità di strumenti per creare, memorizzare, modificare, interrogare e rappresentare le routes completano le funzionalità di segmentazione dinamica.

Gli operatori raster e tridimensionali

La necessità di operare da un unico ambiente su diverse tipologie di dati hanno spinto l'evoluzione dei sistemi GIS verso dei sistemi integrati in cui fossero disponibili operatori in grado di effettuare analisi su dati bidimensionali e tridimensionali, oltre che raster.

Le funzionalità di visualizzazione dei dati raster in diversissimi formati hanno aperto la strada all'integrazione di dati telerilevati, anche da satellite, con i dati di tipo vettoriale; ma la successiva implementazione di una serie completa di operatori in grado di elaborare dati di tipo raster ha praticamente portato all'interno dei GIS funzionalità che erano prerogativa esclusiva dei sistemi di image processing.

Tali funzionalità, in grado di operare su dati di tipo matriciale, hanno aperto la strada ad una serie di applicazioni specifiche difficilmente realizzabili mediante l'approccio vettoriale: la modellazione idrogeologica, la ricerca di superfici di minimo costo (analoghe alla ricerca del minimo percorso, ma in tre dimensioni), l'interpolazione di dati puntuali per la generazione di superfici tridimensionali o la derivazione di curve di livello, sono tutte operazioni che sono state implementate in maniera straordinariamente efficace su strutture dati di tipo matriciale. Mediante una sola specifica funzione ad esempio, è possibile derivare la struttura di un reticolo fluviale partendo da un modello digitale del terreno, e quindi codificare i vari rami del reticolo così identificati o calcolare l'esposizione di una superficie rispetto ad una sorgente luminosa, potendo modificare in tempo reale tutti i parametri relativi

all'orientamento della sorgente e del modello tridimensionale sotto osservazione. Alcune di queste funzionalità che operano su dati raster, trovano una controparte nella funzionalità di modellazione tridimensionale in cui troviamo operatori utili per effettuare calcoli di lunghezze vere (ad esempio, la lunghezza vera di una strada considerando anche l'andamento altimetrico e non quella proiettata su di una superficie piana come nella rappresentazione cartografica bidimensionale), per determinare la reciproca visibilità di due punti oppure per effettuare profili morfologici o sezioni.

Le funzioni che determinano la visibilità di due punti, ad esempio, possono essere utilizzate per le operazioni di valutazione di impatto ambientale, per determinare se e da quali punti è visibile un manufatto in costruzione come una strada od un insediamento abitativo, identificando le possibili soluzioni ottimali. La crescente disponibilità di informazioni sul territorio, tra cui quelle relative alla morfologia, rendono maggiormente fruibili le funzioni che operano sui dati tridimensionali aprendo la strada a delle analisi assai sofisticate che erano prima appannaggio di sistemi specializzati di sola modellazione tridimensionale.



L'interfaccia utente e la programmabilità

Tutte le funzionalità sopra descritte, per quanto potenti possano essere, troverebbero una forte limitazione nel loro utilizzo se non ci fosse una facile ed adeguata modalità di interazione tra l'uomo e la macchina in grado di svolgerle. Analogamente, il risultato di una analisi o di una modellazione spesso si ottiene effettuando le stesse operazioni in maniera iterativa su diversi set di dati oppure modificando dei parametri e reiterando l'analisi. La disponibilità di un linguaggio di programmazione e di adeguati strumenti di interazione con l'utente sono la risposta a queste esigenze. Mediante un linguaggio di programmazione di alto livello, dotato di strutture di controllo del flusso delle operazioni e di comandi per la realizzazione di maschere e menù, è possibile realizzare sofisticate interfacce che rendono agevole anche ad un operatore non specializzato l'accesso e la manipolazione dei dati. La diffusione di standard internazionali per quanto riguarda le GUI (Graphical User Interface), come X-Windows, ha di fatto unificato le modalità di sviluppo delle interfacce rendendo agevole la loro realizzazione e la loro portabilità tra macchine anche di diversi costruttori. Una ulteriore sofisticazione, di grande utilità in sede di definizione ed implementazione di una interfaccia è la disponibilità di editor grafici interattivi, mediante i quali possono essere costruiti dall'utente dei menù dotati di tutti i widgets tipici di queste GUI: cursori, bottoni di scelta, scroll-list ecc. sono alla portata anche del programmatore casuale che viene sgravato dalla necessità di conoscere comandi complessi e può quindi concentrarsi sulle problematiche dell'applicazione a cui sta lavorando.

Parametri e standard dei dati GIS

Il crescente numero di Sistemi Informativi Territoriali ha generato una crescita complementare di dati cartografici. Questi ultimi, contrariamente alla cartografia tradizionale, realizzata per un'utenza decisamente vasta e diversificata, sono stati acquisiti, nella maggior parte dei casi, ad uso e consumo del solo utente richiedente. Tale proliferazione di banche dati, se pur acquisite con metodologie differenti, ha generato duplicazioni e ripetizioni. D'altro canto l'informatizzazione della cartografia è una modalità talmente nuova che per essa non sono ancora stati raggiunti e standardizzati criteri omogenei di produzione e di controllo di qualità, a differenza della cartografia tradizionale che ha da tempo degli standard riconosciuti a livello internazionale. In questi ultimi anni, comunque, studi approfonditi hanno definito gli aspetti generali da considerare per la definizione degli standard per la cartografia numerica e si sta lavorando alacremente, soprattutto sulla base delle esperienze già effettuate, alla individuazione e alla determinazione di tutti i parametri necessari. La letteratura, in materia di standard di cartografia numerica, individua tre aspetti essenziali: contenuti metrici e semantici dei dati, struttura e formato dei dati, profili di qualità. Un parametro fondamentale per definire il contenuto metrico di un dato di cartografia numerica è la scala nominale. Questo è forse l'unico parametro che permette oggi un minimo di conoscenza sull'aspetto metrico del dato. Si conviene infatti che un prodotto di cartografia numerica, realizzato con certi requisiti di precisione metrica, abbia come scala nominale la scala di una cartografia tradizionale realizzata seguendo gli stessi requisiti di precisione metrica. Ma, a parte questo caso, si riscontrano notevoli difficoltà a trovare dei parametri standardizzati. Il problema è generato essenzialmente dalle due logiche che distinguono i dati nati per sistemi di cartografia numerica derivati dal CAD, da quelli realizzati per sistemi GIS: i primi, dedicati essenzialmente alla restituzione, seguono maggiormente le logiche della cartografia tradizionale rappresentando il dato grafico in modo geometrico e il dato descrittivo in modo gerarchico-numerativo; i secondi, orientati all'analisi, rappresentano la parte grafica del dato in modo topologico e strettamente connessa alla sua descrizione attraverso tecniche relazionali.

I parametri di qualità

Oltre una maggiore chiarezza sulla differenza tra queste due logiche, è necessario introdurre alcuni parametri di qualità. Per caratterizzare la qualità globale (dell'intero prodotto) si definiscono: come misura dell'eccesso o della mancanza di informazioni, l'attualità, come percentuale di cambiamenti intervenuti tra la data della rilevazione e quella attuale, la genealogia come insieme di informazioni sulle fonti e sui trattamenti.



Per la qualità locale (relativa cioè a ciascun singolo oggetto cartografico) si definiscono la precisione metrica, definita come differenza della posizione di un punto sulla cartografia rispetto alla sua posizione reale nel sistema di riferimento cartografico utilizzato, la risoluzione, data dalle dimensioni del più piccolo particolare rappresentato, la precisione semantica, definita come corrispondenza tra la realtà e l'attributo qualitativo associato all'oggetto, la coerenza o congruenza logica, definita come assenza di incongruenze rilevabili indipendentemente da una verifica nella realtà (un edificio su una strada, due curve di livello che si intersecano, ecc.) e in ultimo la congruenza geometrica, cioè l'assenza di errori di forma e posizione che non possono essere rilevati senza una verifica diretta sul campo.

Questi parametri sono ancora oggi scarsamente utilizzati per descrivere i dati. Generalmente ci si limita ad una descrizione complessiva del contenuto geometrico e degli attributi associati, alla scala nominale, alla fonte e alla precisione metrica.

I tipi di dati

I dati spaziali sono generalmente rappresentati su carte geografiche e quindi la sorgente più comune di dati acquisibili in un GIS sono carte topografiche e tematiche. Ovviamente sono disponibili altre tipologie di dati rilevati con altre metodologie quali: rilievi eseguiti direttamente sul terreno, foto aeree, immagini da satellite, ecc.

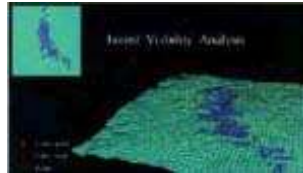


L'approccio generalmente usato nei GIS per l'acquisizione in forma digitale delle informazioni territoriali è la rappresentazione per punti, linee e poligoni. Ciascuna entità territoriale viene semplificata in una o più di queste forme ed archiviata come insieme ordinato di coordinate. Tale formato topologico di dati spaziali è conosciuto come formato vettoriale ed è compatibile con molti algoritmi matematici di elaborazione dei dati.

Un altro tipo di rappresentazione di dati spaziali è conosciuto con il nome di formato raster, il cui sviluppo ed utilizzazione sono stati fortemente indirizzati dalla tecnologia hardware per l'acquisizione e restituzione di dati grafici. I dati geografici in formato raster sono riportati su una griglia regolare (o matrice) la cui unità elementare è generalmente chiamata cella (o pixel). Anche per questa tipologia di rappresentazione sono disponibili molti algoritmi matematici derivati dall'analisi matriciale. L'evoluzione dei GIS è stata fortemente influenzata da questa dicotomia di formati. Al fine di superare tale dicotomia ed usufruire delle potenzialità offerte da ciascuno dei due formati, i GIS dell'ultima generazione tendono ad integrare le due tipologie nel miglior modo possibile, permettendo, in strutture omogenee di archivi, la convivenza dei dati, l'elaborazione interconnessa di questi ultimi e la conversione dei formati. L'analisi delle caratteristiche dei due formati di dati ci permette di compararli e di evidenziare le peculiarità di ciascuno di essi rispetto all'accuratezza, la risoluzione, l'associazione di attributi, il volume dei dati, le tecniche di restituzione e gli algoritmi di elaborazione.

L'accuratezza

L'accuratezza delle rappresentazioni digitali di dati spaziali dipende dai requisiti imposti dall'utente ed è legata alla sorgente dei dati (cartografia, immagini, ecc.) e alle metodologie e strumenti usati per acquisirli. I dati vettoriali vengono generalmente acquisiti attraverso rilievi aerei o direttamente da cartografia. In tal caso l'accuratezza è fortemente relazionata alle regole di interpretazione del dato sorgente e alla precisione in fase di digitalizzazione dell'informazione. Regole poco precise comportano eccessiva discrezionalità da parte dell'operatore in fase di interpretazione; anche la scelta di metodologie e di strumenti di acquisizione appropriati al tipo di informazione è di fondamentale importanza per assicurare una buona accuratezza del dato.



Sicuramente l'accuratezza è assicurata comunque da metodologie di controllo di qualità del dato molto onerose, ma necessarie per questa tipologia di formato. D'altro canto l'accuratezza ottenibile va a favore delle tecniche di elaborazione dei dati che sfruttano la continuità del formato vettoriale. L'accuratezza del dato raster dipende invece, nella maggior parte dei casi, dagli strumenti di acquisizione.

Per esempio, per le immagini telerilevate, l'accuratezza è determinata dalle piattaforme satellitari ed aeree. Le oscillazioni dei mezzi che trasportano i sensori provocano deformazioni delle immagini che possono essere corrette con più o meno precisione in fasi successive di elaborazione del dato. Anche l'informazione radiometrica influenza l'accuratezza del dato. Per quanto riguarda l'accuratezza dei dati di tipo cartografico, acquisiti con strumenti di scansione (scanner), essa è legata essenzialmente alla precisione strumentale senza peraltro sottovalutare l'influenza determinata dalle tecniche software di discretizzazione. In sintesi possiamo considerare l'accuratezza dei dati raster più sistematica e meno discrezionale, pur non sottovalutando la difficoltà nel controllo dell'errore presente per entrambi i formati.

La risoluzione

La risoluzione del dato spaziale descrive la relazione tra la distanza come misura nel reale e la distanza come misura della sua rappresentazione digitale o su carta. La risoluzione è legata al fattore di scala cartografica anche se non può essere direttamente relazionata alla dimensione fisica di ogni elemento grafico. In pratica, mentre la dimensione del lato della cella elementare nel formato raster definisce la risoluzione del dato (cella di 10 x 10 metri = risoluzione di 10 metri), nel formato vettoriale la risoluzione può essere associata alla distanza minima fra due vertici di una spezzata pur essendo comunque fortemente influenzata dalla scala di rappresentazione cartografica del documento sorgente. Questo metodo può essere opinabile in quanto un lungo tratto rettilineo può essere acquisito esclusivamente con i due vertici estremi senza per questo ridurre la precisione. Invece, con tecniche di scansione e vettorializzazione automatica, tale distanza, come parametro di risoluzione, può avere maggior senso. Infatti, in tal caso, il dato vettoriale è ricavato da un formato raster, pertanto la distanza fra i nodi di una spezzata è legata alla risoluzione del dato raster. Per quanto riguarda i dati rilevati direttamente sul terreno con tecniche topografiche, la precisione è legata agli strumenti utilizzati ed alle tecniche di rilievo. In sintesi, poiché il parametro di risoluzione è così diversificato nei due formati, deve essere necessariamente comparato insieme agli altri fattori indicati in questo capitolo.

L'associazione di attributi

Una peculiarità che distingue i GIS dai sistemi di cartografia numerica più tradizionali è la possibilità di associare ad elementi geometrici rappresentativi di oggetti o aree sul territorio, attributi ed informazioni di vario tipo (dati alfanumerici, testi, foto, disegni, ecc.). Per i dati raster è possibile associare ad ogni cella elementare, rappresentativa di una certa area sul territorio, un numero infinito di attributi. Inoltre a classi di attributi possono essere associate ulteriori informazioni. Per esempio, in un'immagine da satellite, ad ogni cella sono associate le risposte spettrali delle diverse bande, oltre a poter essere associato il valore di classe di uso del suolo calcolato con opportuni algoritmi sulla base delle varie risposte spettrali. Per quanto riguarda il formato vettoriale, gli oggetti presenti sul territorio possono essere rappresentati da elementi puntuali, lineari o poligonali o da insiemi composti di questi elementi di base (oggetti).



Ad ogni elemento o ad ogni insieme di elementi è possibile associare un numero infinito di attributi e definire le relazioni che sussistono fra di essi. Generalmente gli attributi del formato vettoriale sono inseriti in un data base relazionale, pertanto la definizione di tabelle e relazioni può essere considerata dinamica e flessibile nel tempo, cosa che offre potenzialità molto vaste nella struttura degli archivi e nelle applicazioni.

In sintesi, mentre il formato raster, per la stessa struttura logica delle informazioni si presta bene a gestire dati tematici, il formato vettoriale è molto più indirizzato verso strutture complesse di relazioni fra le informazioni descrittive legate agli oggetti rappresentativi del territorio.

Il volume dei dati

La tecnologia hardware sta spingendo sempre più verso una riduzione sia delle dimensioni fisiche della memoria di massa che dei relativi costi. Nonostante questo, il volume dei dati geografici è ancora un problema da non sottovalutare. E' generalizzata l'idea che i dati in formato raster occupino molta memoria di massa. Infatti l'occupazione di una copertura raster è data dal numero di righe per il numero di colonne per il numero di bit necessari a contenere l'informazione descrittiva. Naturalmente per certe tipologie di dati raster (tematismi o cartografie) è possibile usare metodi di compressione che riducono di un certo fattore la quantità di memoria occupata. Nonostante questo, quando parliamo di archivi di banche dati geografiche in formato raster, le quantità di memoria richieste sono sempre dell'ordine dei Gigabyte.



Il formato vettoriale è invece noto per essere più economico dal punto di vista del volume di dati. In questo caso però va posta molta attenzione alla risoluzione geografica richiesta, in quanto un dato ad alta risoluzione, acquisito per esempio vettorializzando da una mappa raster, può occupare una buona quantità di memoria. In sintesi il formato raster può essere senz'altro considerato il formato che necessita di maggiore quantità di memoria di massa, tenendo presente comunque che in taluni casi anche il dato vettoriale può richiedere quantità al di sopra della media.

Le tecniche di restituzione

Per quanto riguarda la restituzione dei dati geografici, il fattore determinante che distingue i due formati è dato dalla strumentazione hardware. Per la visualizzazione dei dati oggi non ci sono più problemi e differenze: Personal Computer, stazioni di lavoro e terminali grafici permettono di visualizzare sia dati vettoriali che dati in formato raster.

Le periferiche di output su supporto cartaceo invece sono sostanzialmente diverse. I classici plotter a penna hanno un costo limitatamente basso, tempi mediamente lunghi di esecuzione e permettono la restituzione solo di dati in formato vettoriale. I plotter elettrostatici, a getto di inchiostro, a trasferimento termico e similari, sono veloci, permettono la restituzione di entrambe le tipologie di dati, ma hanno costi iniziali e di funzionamento decisamente superiori ai primi. In sintesi il costo delle apparecchiature di restituzione può essere considerato un fattore discriminante a favore del formato vettoriale.



Gli algoritmi di elaborazione

Un'altra differenza sostanziale tra GIS ed i software di cartografia numerica è la possibilità intrinseca dei primi di elaborare i dati geografici attraverso algoritmi matematici. La disponibilità di algoritmi di elaborazione dei dati è un parametro molto importante per valutare le potenzialità di uno strumento GIS. Per le due tipologie di formato dati, trascureremo le funzioni generali quali quelle di riclassificazione, unione in adiacenza, generalizzazione, eliminazione di distorsioni, ecc. che, se pur diverse come approccio matematico e metodologico, incidono meno nella comparazione tra i due sistemi. Gli algoritmi di overlay mapping, cioè di sovrapposizione ed integrazione di più strati informativi, sono presenti per entrambi i formati. Nel formato raster sono più semplici dal punto di vista matematico e più intuitivi dal punto di vista utente e permettono infinite combinazioni di strati. Per il formato vettoriale sono più complesse in tutti i sensi, ma sicuramente più precise elaborano dati sul continuo e non sul discreto. Per gli algoritmi di buffering, cioè di generazione di aree di rispetto intorno ad elementi geografici, e per la famiglia di algoritmi per l'elaborazione di modelli digitali del terreno, valgono le stesse considerazioni sopra descritte. Invece alcuni algoritmi sono disponibili solo sulla tipologia di formato che facilita l'approccio al problema. Gli algoritmi per l'analisi di intorno o per la ricerca di percorsi di minimo costo sono tipici del formato raster, mentre gli algoritmi per l'allocazione di risorse, per la ricerca dei percorsi ottimali, di segmentazione dinamica, sono tipici del formato vettoriale. In sintesi i due formati si distinguono proprio in base alla disponibilità di algoritmi di elaborazione.

Integrazione di dati raster e vettoriali

La disponibilità di algoritmi di elaborazione dei dati geografici è sicuramente il fulcro decisivo per la comparazione delle due tipologie di dati. Le necessità applicative richiedono tutte le funzionalità possibili di analisi senza distinzione. Questo determina la naturale complementarità dei due formati e la necessità di generare delle sinergie. Le funzionalità richieste affinché i due formati possano essere considerati in una logica integrata sono:

- facilità nel passaggio dei dati dal formato vettoriale al formato raster e viceversa;
- interfaccia utente studiata per rendere intuitivo l'uso integrato dei due formati;
- strutture omogenee di archivi di dati raster e vettoriali;
- gestione dei dati descrittivi associati alle due tipologie di formato attraverso l'uso di un comune data base relazionale;
- compatibilità del sistema di georeferenziazione dei due formati;
- possibilità di visualizzare ed interrogare simultaneamente e contemporaneamente dati raster e vettoriali;
- tecniche di elaborazione integrata.

L'insieme delle funzionalità sopra descritte rappresenta l'indirizzo attuale degli strumenti GIS più avanzati presenti sul mercato. Negli ultimi anni da funzioni di conversione di dati da formato raster a vettoriale si è passati ad una integrazione orientata a visualizzare ed editare insieme le due tipologie di dati.



Le prossime frontiere sono verso interfacce utente sempre più indirizzate a rendere disponibili funzionalità e processi applicativi senza limiti di formato. L'utente deve poter usufruire di tutte le potenzialità di elaborazione offerte dalle due tipologie, senza peraltro dover essere vincolato dai formati stessi. In conclusione la complementarità dei due formati rende necessaria una sempre più completa integrazione all'interno di strumenti GIS orientati allo sviluppo di applicazioni territoriali.

La diffusione dei dati GIS

Gli ultimi studi sui costi/benefici dei Sistemi Informativi Territoriali effettuati nei paesi d'oltre oceano hanno evidenziato una netta riduzione del costo attribuito ai dati rispetto al costo complessivo del sistema. Si sta gradualmente decrementando la spesa sui dati dal 70% al 20%, favorendo in tal modo la diffusione della tecnologia GIS. La riduzione della spesa sui dati è dovuta essenzialmente alla grande disponibilità di basi territoriali in forma digitale: dai dati di pubblico dominio degli enti governativi alle banche dati, generate da società private, immesse sul mercato a prezzi decisamente interessanti. Anche in Italia molti enti pubblici e società private hanno acquisito basi territoriali di particolare interesse per molti potenziali utenti. In questo senso, una recente iniziativa italiana è stata quella della pubblicazione del catalogo ArcData Italia, nel quale sono presenti dati di diversa tipologia, da coperture geografiche a tabelle di attributi, da modelli digitali del terreno a immagini da satellite. Tali banche dati sono state sviluppate da ESRI ITALIA, da vari enti pubblici e società private e sono potenzialmente utili in diversi campi di applicazione quali: gestione delle risorse naturali, analisi socio-demografiche, trasporti, pianificazione territoriale, ricerche di mercato, ecc. Tra i primi dati presenti a catalogo figurano grafi stradali (con la toponomastica e i numeri civici), foto da satellite, indicatori di marketing, cartografia a varie scale di alcune regioni (limiti amministrativi, idrografia, strade, ferrovie, ecc.) e dati statistici georeferenziati, mentre altre banche dati sono in preparazione.

Gis: prodotto o sistema?

Spesso ci si domanda se il GIS è un prodotto o un sistema, se va acquistato o progettato, se è una soluzione standard o va sviluppato di volta in volta. La domanda non è capziosa e non dipende solo dal fatto che il GIS sia una tecnologia matura o meno. Domandiamoci innanzi tutto cosa si intende per GIS. Se per GIS si intende un software di gestione di un data base geografico, allora i prodotti oggi in commercio garantiscono elevati standard qualitativi e una gamma di prezzi (e di rapporto prezzo/prestazioni) estremamente variegata. Si va da applicazioni per personal computer paragonabili anche nel prezzo ai più diffusi pacchetti disponibili sotto Windows a sofisticati strumenti software operanti in rete locale e geografica su workstation, macchine dipartimentali, mainframes.



Se per GIS si intende una soluzione, allora ci dobbiamo porre anche la domanda "a cosa serve" e includere nel progetto i costi, i tempi ed i metodi di costruzione della base di dati e delle applicazioni. In altre parole, se si vuole visualizzare e riprodurre una mappa ed eseguire le funzioni di base di un GIS (overlay topologici, selezioni spaziali, ecc.), si compra un software se si vuole sopportare delle decisioni e si acquista una soluzione, composta di hardware, software, dati, applicazioni, servizi di formazione, addestramento, manutenzione, ecc. Ecco perchè dopo aver parlato di topologia, dati georeferenziati raster e vettoriali, attributi, funzioni e operatori, ci ritroviamo ora a parlare di applicazioni.

Cos'è un'applicazione

Ai fini di questa trattazione, per applicazione vogliamo intendere sostanzialmente tre cose: un modello dati orientato, un insieme di algoritmi e un'interfaccia utente. Per interfaccia utente intendiamo quella serie di icone, menu, schermate che consentono all'utilizzatore di richiamare le funzioni più frequentemente richieste all'applicazione e che consentono l'introduzione dei parametri sui quali il sistema effettua i suoi calcoli. Gli algoritmi sono invece i veri e propri programmi, di solito scritti in macrolinguaggio (cioè come sequenza di istruzioni già disponibili nel GIS) ovvero programmati a più basso livello in altri ambienti e collegati ai menu dell'applicazione. Detti algoritmi effettuano in genere i calcoli necessari all'utente, quali il dimensionamento di una rete, il calcolo di incongruenze spaziali, il percorso ottimale, ecc.



Per modello dati orientato intendiamo un modello dati che tenga conto di come i dati debbano essere organizzati per rispondere alle domande che si vorranno fare al sistema. Un semplice esempio può essere quello di come memorizzare le strade: se la domanda riguarda la rete viaria, intesa come insieme sul quale calcolare ad esempio le distanze, i percorsi ottimali, i bacini d'utenza, il traffico, la domanda di trasporto, ecc., allora le strade andranno memorizzate sotto forma di linee e di nodi a formare un grafo, se la domanda riguarda la manutenzione del manto stradale, di reti tecnologiche, ecc. andranno invece memorizzate come superfici.

Ciò con tutte le varianti possibili: i parametri che consentono di calcolare l'iscrizione in curva degli autobus, il numero di corsie o i sensi di percorrenza potranno essere resi geometricamente, ovvero utilizzando appositi attributi sempre a seconda delle domande che porremo al sistema a supporto delle decisioni che siamo chiamati a prendere (scenari, simulazioni, analisi).



Il fatto che ciascuna applicazione abbia bisogno oltre che di programmi ed interfacce anche di un modello dati ad essa orientato non significa che venga meno il grande contributo che il GIS può dare nel coordinamento tra utenti diversi che intervengono sullo stesso territorio. E' evidente che, ad esempio in una applicazione comunale, l'ufficio urbanistica può avvantaggiarsi degli aggiornamenti alla viabilità operati dal servizio strade, ovvero dalla possibilità di analisi offerte dal collegamento del sistema con l'anagrafe della popolazione.

Tutto ciò richiede una condivisione del data base che però non deve, come erroneamente si pensa, essere totale. In altre parole è necessario definire un insieme minimo di informazioni geografiche comuni, necessario a riferire ad una stessa cartografia (detta "di base") le informazioni necessarie alle specifiche applicazioni, ma non si deve ridurre la complessità dei fenomeni studiati da ciascun dipartimento ad un minimo denominatore comune. Ad esempio la strada di cui si è parlato prima, potrà essere memorizzata come superficie ai fini della cartografia di base (in genere di derivazione catastale a grande scala) e come tale essere utilizzata per "appoggiarvi" gli elementi descrittivi necessari per la redazione di piani regolatori o per la gestione della manutenzione, mentre il suo "asse" (esso può anche avere in comune con l'altra rappresentazione alcuni attributi, quali per esempio la toponomastica) può essere utilizzato per applicazioni che richiedono la disponibilità di un grafo (gestione delle linee di trasporto pubblico, raccolta dei rifiuti, simulazioni di traffico).

La cartografia di base

Ecco così che l'esigenza di disporre di un modello dati e di descrittori specifici (sia geometrici che alfanumerici oltre che multimediali) per una singola applicazione può essere resa compatibile con quella di condividere tra diverse applicazioni una parte della base di dati, che rappresenta la cartografia di base, che non è essa stessa un'applicazione (salvo che l'utente non sia un centro servizi dedicato alla produzione di cartografia numerica...).

Un altro elemento importante delle applicazioni, ma anche più in generale di ogni installazione di un GIS, è costituito dalla necessaria interdipendenza delle applicazioni con altre, anche non GIS, e del loro impatto nell'organizzazione del lavoro. Quando si progetta la costruzione di un ponte, anche se l'azienda appaltatrice ha l'incarico della sola costruzione del ponte medesimo (e indipendentemente dalla valutazione di impatto ambientale cui l'impresa progettista è tenuta per legge), è evidente che l'amministrazione dovrà aver proceduto, prima dell'inizio dei lavori, ad inserire quel manufatto nel più ampio contesto della viabilità interessata.



In altre parole avrà dovuto tenere conto degli eventuali vincoli e svincoli necessari, di come quell'opera influirà sulle direttrici di traffico, sugli eventuali parcheggi o nodi di scambio, sull'impatto ambientale (dall'idrogeologia al rumore), ecc. per inserire quel singolo manufatto nel più ampio sistema viario interessato.



Analogamente non si può pensare di introdurre un'applicazione GIS senza tenere conto da una parte della struttura di sistemi e processi già presenti nell'amministrazione e potenzialmente "allacciabili" ad essa per consentire di disporre dei dati necessari alle analisi da effettuare e dall'altra delle procedure organizzative presenti e di come dette procedure possano modificarsi per trarre utilità dal sistema GIS (e quindi anche delle connesse esigenze formative del personale). Altrimenti si corre il rischio di "rendere più efficiente l'inefficienza preesistente".

L'integrazione tecnologica

Un'ultima considerazione in merito alle applicazioni GIS riguarda l'integrazione con altre tecnologie. La finalizzazione di un GIS a specifiche esigenze applicative rende utile, possibile e a volte necessario ricorrere anche ad altre tecnologie quali centraline di raccolta dati (ad esempio per la misura della qualità dell'aria), GPS (per la radiolocalizzazione di mezzi mobili), Videotel (per l'aggiornamento remoto degli attributi), ATM (per la distribuzione al pubblico delle informazioni per mezzo di sportelli tipo bancomat), reti locali e/o geografiche (per la condivisione della cartografia di base con altri enti e/o dipartimenti), ipertesti (per la lettura intelligente delle disposizioni amministrative relative agli oggetti geografici), multimedialità (per l'integrazione di basi dati diverse, documenti, fotografie, filmati, ecc.), RDBMS (per l'accesso geografico ad informazioni contenute in altri sistemi), fino ad ipotizzare, per specifiche applicazioni, sconfinamenti nella robotica, nella realtà virtuale, nelle autostrade elettroniche, nei sistemi esperti o nella televisione interattiva. Tutto ciò, pur apparendo futuribile, può essere invece realtà di oggi se ritagliata attorno ad una applicazione GIS che, non ci stancheremo mai di ripetere, ha una domanda precisa a cui rispondere e quindi può mettere in campo risorse dedicate. Va di moda, in altri settori, pensare ad applicazioni verticali, e quindi, per contro, ad applicazioni orizzontali. Nel GIS si potrebbero ad esempio definire verticali le applicazioni mirate ad uno specifico settore (monitoraggio, valutazione di impatto, simulazione del traffico) ed orizzontali quelle legate ad una tecnologia (mosaicatura di mappe, fotointerpretazione, condivisione di data base). In realtà un'applicazione è sempre specifica e ciò che ci deve guidare è sempre la domanda di servizi (simulazioni, previsioni, dimensionamenti) cui risponde.



Sono applicazioni ad esempio quelle che calcolano i percorsi ottimali per la raccolta di rifiuti o la distribuzione di merci, quelle che monitorizzano l'inquinamento, quelle che calcolano domanda e offerta di servizi, quelle che simulano l'effetto di piani di riconversione, ecc. Non vale quindi tanto la pena tentare di individuare delle tipologie, quanto dare una panoramica generale, non certo esaustiva, della ricchezza di utilizzi che presenta oggi questa tecnologia.

Il futuro presente

Ma prima di illustrare le principali applicazioni, un'ultima considerazione tecnologica. Il GIS è ormai una tecnologia matura, eppure sembrerebbe a questo punto che ciascuna installazione sia "unica" e quindi non replicabile. E' vero che ogni esigenza è diversa ed è per questo che l'economia di scala, ricercata da tutti i mercati di tecnologia, non può essere trovata in campo applicativo. Ma ciò non significa che ogni utente deve sempre ricominciare da capo. Primo perchè in realtà il grosso del lavoro in un'applicazione non è nella scrittura di programmi ma nell'attività di analisi che è unica per ciascun utente ma che utilizza strumentazioni simili per tutti. Secondo perchè l'attuale evoluzione non sta tanto nella maggiore disponibilità di singole applicazioni quanto nella sempre maggiore disponibilità di strumenti (standard e per tanto replicabili) per svilupparle. Terzo perchè gli attuali strumenti GIS sono talmente flessibili che, a volte, l'applicazione non è un programma ma quasi esclusivamente una modalità di utilizzo del GIS. In futuro possiamo ipotizzare che l'utente, con semplici e potenti prodotti integrati object-oriented, possa estrarre dati da un server, rimodellarli, arricchirli con dati prelevati da altri archivi, organizzarli in un proprio schema, lanciare in cascata una serie di funzioni e memorizzare il tutto (connessioni, modelli, dati e procedure) in un "oggetto", magari legato ad un'icona e riprocessato quotidianamente. Queste potrebbero essere le applicazioni del futuro: un futuro che è già cominciato, dato che la tecnologia GIS presente oggi sul mercato già consente di fare cose simili su un semplice personal computer.

Le applicazioni esistenti e previste

Secondo il più recente studio di Teknibank (marzo 1993), le applicazioni GIS più diffuse in assoluto sono quelle di gestione di reti tecnologiche (29%), di pianificazione e gestione urbanistica (23%) e del territorio (22%). In generale, le Regioni sono in prevalenza dotate di applicazioni per la gestione del territorio, mentre si intravede uno sforzo per le applicazioni di monitoraggio ambientale e per attività GIS in relazione alla pianificazione e gestione della rete dei trasporti. Le Provincie sono in prevalenza dotate di applicazioni di pianificazione e omogeneizzazione degli strumenti urbanistici e nel medio periodo dovrebbero orientarsi verso soluzioni per la pianificazione e gestione del territorio, incluso il controllo delle realizzazioni ambientali e le reti tecnologiche connesse ai trasporti. I Comuni evidenziano il ruolo prioritario delle applicazioni di pianificazione e gestione urbanistica (piani regolatori comunali) e al secondo posto quelle connesse alle reti tecnologiche. Le aziende di servizi pubblici, nazionali e locali, hanno per lo più realizzato applicazioni per interventi di progettazione, gestione e controllo di reti tecnologiche per l'erogazione di gas, elettricità, acqua e di monitoraggio ambientale. Ma accanto a questi utenti e a queste applicazioni che potremmo definire più tradizionali, sono presenti realtà nuove.

Alcuni potenziali utenti GIS stanno emergendo prepotentemente, anche grazie alla disponibilità di nuove tecnologie GIS a basso costo, tra i quali istituti di credito, assicurazioni, servizi socio-sanitari, società di trasporto, di distribuzione e di manutenzione, strutture del turismo, studi di ingegneria e singoli professionisti che si aggiungono sempre più numerosi ai tradizionali utenti quali i ministeri, gli enti cartografici, le regioni, le province, i comuni, le comunità montane, i consorzi, le aziende municipalizzate, le università e gli istituti di ricerca.



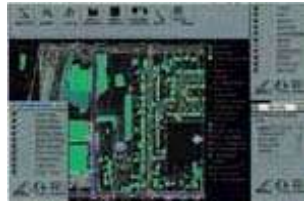
Questa varietà di utenti vecchi e nuovi riflette una sempre più diversificata domanda di applicazioni: a quelle già citate e a quelle di gestione di parchi, foreste, uso del suolo, catasto (edilizio e terreni), certificazioni, monitoraggio ambientale, ecc. si aggiungono applicazioni sulla viabilità, piani del traffico, simulazioni, telecontrollo, studi di impatto ambientale, analisi socio-economiche e della domanda, reti di servizi di distribuzione, posizionamento sportelli, analisi della concorrenza, ottimizzazione trasporti, terminali di sportello, percorsi turistici, applicazioni multimediali,

Il geomarketing

Non è possibile, tanto più in questo spazio, procedere ad una descrizione di tutte le applicazioni esistenti e previste. Vogliamo perciò presentare, a titolo esemplificativo, una nuova famiglia di applicazioni che viene generalmente ricompresa nel termine "geomarketing", per dare un'idea al lettore della ricchezza insita nel concetto di applicazione GIS. Per geomarketing si intendono le analisi di marketing condotte su dati georeferenziati. Facciamo alcuni esempi.

Tutti gli automobilisti che entrano in autostrada ritirano uno scontrino che presentano all'uscita: è quindi possibile calcolare il pedaggio pagato, ma è anche possibile conoscere il percorso effettuato. Assumendo in prima approssimazione che tutti gli

automobilisti scelgono il percorso più breve e conoscendo l'ora e il giorno di ingresso e di uscita, è possibile anche calcolare a ciascuna ora di ciascun giorno quanta gente passa in un dato tratto autostradale.

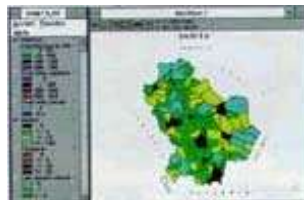


E di quella gente sappiamo da quanto tempo è in macchina e quanto mediamente ci rimarrà prima di uscire dall'autostrada. Ecco che i servizi venduti da ciascun operatore economico presente in autostrada (autogrill, benzinai, meccanici, ecc.) possono essere adeguati alla domanda. Il direttore marketing di un'azienda di prodotti di larga distribuzione si vede consegnare ogni settimana un lungo tabulato che riporta le vendite di tutti i prodotti divisi per regione e provincia ed un altro che li vede divisi per agente. E' evidente che alcuni agenti vendono meno di altri e che su alcune provincie la domanda è maggiore che in altre. Ma, a parte le esigenze contabili, come può il nostro direttore marketing prendere delle decisioni nell'ottimizzare la sua rete di agenti? Intanto le vendite potrebbero essere visualizzate su una carta geografica, per evidenziare le zone di minore penetrazione. Ma, dato che il prodotto si rivolge ad utenti di reddito medio-alto, forse è meglio usare un denominatore appropriato, ovvero dividere le vendite per la popolazione di un certo reddito ed ecco che la carta cambia colore! E' evidente che non è in gioco quanto si vende provincia per provincia ma quanto si vende rispetto al potenziale mercato. Una banca intende aprire dei nuovi sportelli. Il prodotto che gode del migliore posizionamento di mercato è, poniamo, il credito alla piccola e media impresa. Naturalmente lo sportello deve insistere in locali poco costosi, in zone dove non sono già presenti altri sportelli della stessa banca e dove sia presente la piccola e media impresa.



E la concorrenza? Ecco allora che possiamo riportare su una carta geografica, colorata in base alla densità di imprese per tipologia (dati della Camera di Commercio o del censimento ISTAT delle unità produttive), la posizione degli sportelli della concorrenza e calcolare le zone migliori. Naturalmente possiamo anche rappresentare gli sportelli attualmente in esercizio attribuendogli un peso calcolato sulla base delle date anagrafiche degli attuali clienti a loro volta divisi per tipologie. Tutti questi dati (anagrafiche dei clienti, sportelli bancari ABI, dati censuari) sono già disponibili e acquistabili se non addirittura già presenti sui computer della banca!

Una USL intende nazionalizzare la collocazione dei propri servizi territoriali per consentire un accesso medio più efficiente a tutti i cittadini. Sulla pianta della città i servizi sembrano ben distribuiti: i simboli che li rappresentano sono ben sparpagliati su tutta la mappa. Eppure alcuni servizi registrano una domanda maggiore di altri, come mai? Prima di tutto si può colorare la mappa in funzione della densità della popolazione, magari divisa per fasce d'età in modo da evidenziare la densità di anziani (se si tratta di centri per anziani), di donne in età fertile (consultori), di bambini, sempre per applicare il corretto denominatore, come detto sopra.



Poi bisogna ricordare che il bacino d'utenza di un servizio non equivale a un cerchio attorno al palazzo, ma ad una distanza lungo le vie di accesso al servizio stesso. Ecco che si possono colorare le strade di accesso con colori diversi per i primi cento metri, i successivi cento e così via, fino a rappresentare le zone in funzione della densità di domanda e della distanza di accesso ai servizi, per trarne le nostre decisioni. Questi esempi, realmente praticati, sono oggi alla portata di tutti: esistono oggi tecnologie (programmi, dati e applicazioni) che consentono di realizzare queste ed altre applicazioni cominciando con poche centinaia di migliaia di lire!

Conclusioni

Speriamo di essere riusciti a dare al lettore un'idea di cos'è il modello dati di un GIS, cosa si intende per geometria topologia e attributi, cos'è la georeferenziazione, una proiezione e un sistema di riferimento, che differenza c'è tra dati raster e dati vettoriali, cos'è un modello tridimensionale del terreno e a cosa servono gli attributi, cosa sono gli standard di qualità dei dati topologici sia raster che vettoriali, cosa significa classificazione, fonti, scale, disponibilità di dati territoriali (anche a catalogo), controlli di qualità sia geometrici che semantici, strumenti di acquisizione, interpretazione di immagini da satellite, ecc. e quali sono gli strumenti con cui manipolare questi dati.

E' naturale infatti che la prima esigenza di chi avvia un proprio GIS sia quella di dotarsi di dati geografici pertinenti, ma è anche evidente che questi dati dovranno poi essere utilizzati, ovvero resi disponibili per quelle elaborazioni tematiche, di analisi spaziale, di simulazione che costituiscono in effetti lo scopo ultimo di un sistema GIS. Ed ecco quindi la necessità di capire cos'è un overlay, un buffer, un grafo di rete, per comprendere le funzionalità tipiche di un GIS, funzionalità che contribuiscono a differenziare un sistema GIS da uno CAD per la marcata utilizzazione che fanno dei concetti di georeferenziazione, topologia, attributi e integrazione dei dati raster che caratterizzano il modello dati di un GIS.



Ma è anche vero che tutto ciò, senza una finalizzazione al supporto di processi decisionali è inutile, non genera cioè quell'aumento di conoscenze che è il vero scopo di un sistema informativo. Dopo aver quindi discusso di applicazioni, averne presentato una panoramica (che non ha certo la pretesa di essere esaustiva ma solo l'obiettivo di introdurre il lettore ai molteplici utilizzi di un sistema GIS) e aver approfondito a titolo di esempio una nuova famiglia di applicazioni, quella del geomarketing, vorremmo, per concludere, riepilogare i più significativi campi di applicazione di un GIS: si va dalla pianificazione territoriale alla gestione di reti tecnologiche, dal monitoraggio ambientale alla salvaguardia dei beni culturali, simulazione del traffico, piani di disinquinamento, cartografie tematiche, geologiche, sismiche, di uso del suolo, Piani Regolatori Urbanistici e di settore, gestione di pratiche catastali, studi di impatto ambientale, gestione del patrimonio edilizio, controllo della produzione agricola, marketing territoriale, analisi socio-economiche, pianificazione di reti distributive, analisi della domanda di servizi, e così via.