

GIS
Geographic Information System

Estratto da:

Claudio Parente, Raffaele Santamaria

Sistemi Informativi Georiferiti

Giannini, 2004
Napoli

1. I GIS: definizione e finalità

La denominazione *Sistema Informativo Geografico* costituisce la traduzione italiana della corrispondente anglosassone *Geographic Information System (GIS)*, espressione coniata negli anni '60 in Canada da Roger Tomlinson per indicare un sistema di archivio computerizzato atto a processare e analizzare i dati concernenti l'inventario delle risorse naturali presenti sul territorio nazionale in supporto a decisioni operative.

Nello stesso periodo tale denominazione veniva adoperata anche da Duane Marble in riferimento ad un insieme di programmi *software* e banche dati da utilizzare in studi riguardanti i trasporti urbani.

Negli anni seguenti, l'espressione GIS si diffuse nell'ambito del settore dell'Information Technology per indicare essenzialmente strumenti e procedure per l'archiviazione e l'elaborazione di dati di varia natura riferiti ad una realtà geografica. Cominciarono a diffondersi anche altre denominazioni, tra cui quella di *LIS (Land Information System)*. Nel linguaggio ricorrente prevalse infine l'espressione GIS che in un primo momento trovò la traduzione italiana in *Sistema Informativo Territoriale*; successivamente riflessioni in ordine alla inadeguatezza dell'aggettivo *territoriale* ad indicare le molteplici applicazioni che investono campi diversificati hanno indotto ad una più letterale traduzione dall'inglese, per cui è divenuto ricorrente l'uso della denominazione *Sistema Informativo Geografico*. Più di recente sono state coniate nuove denominazioni quale quella di *Sistema Informativo Georiferito*.

Sul significato dell'espressione GIS è possibile ritrovare numerose definizioni nella letteratura sull'argomento, talvolta diverse tra loro in quanto volte a dare maggiore risalto ora a taluni ora ad altri dei molteplici aspetti funzionali, costitutivi ed applicativi concernenti i sistemi in oggetto. Si riportano di seguito alcune tra le più significative ed emblematiche di tali definizioni:

Con l'espressione GIS viene indicato un insieme di funzioni che consentono di archiviare, richiamare all'occorrenza, trattare e rappresentare dati georiferiti (Ozemoy, Smith e Sicherman, 1981).

I GIS sono un potente insieme di strumenti per raccogliere, archiviare e all'occorrenza richiamare, trasformare e rappresentare dati spaziali provenienti dal mondo reale (Burrough, 1986).

I GIS sono sistemi per raccogliere, archiviare, controllare, trattare, analizzare e rappresentare dati che sono riferiti alla Terra (DoE, 1987).

I GIS sono una tecnologia informatica che consente di archiviare, analizzare e rappresentare dati di tipo spaziale e non (Parker, 1988).

Un GIS è un sistema per il supporto decisionale su tematiche di natura ambientale che si basa sull'utilizzo di dati spazialmente riferiti (Cowen, 1988).

La terminologia GIS viene adoperata per indicare un insieme di procedure (computerizzate e non) usate per archiviare e trattare dati georiferiti (Aronoff, 1989).

I Sistemi Informativi Geografici sono strumenti che permettono di gestire ed elaborare informazioni di varia natura associate al territorio (G. Peverieri, 1995).

Dalle definizioni sopra riportate emergono alcuni aspetti peculiari dei GIS così riassumibili:

- capacità di trattare dati di varia natura;
- capacità di riferire l'informazione ad entità territoriali e quindi di ricondurre il dato ad una collocazione spaziale;
- capacità di presentare i dati e l'elaborazione degli stessi in risposta a specifiche interrogazioni.

In definitiva un GIS può definirsi come un insieme di strumentazioni *hardware* e *software* che consente di integrare informazioni grafiche ed alfanumeriche riferite ad una precisa realtà geografica, rendendo possibili una serie di operazioni quali: l'acquisizione, la strutturazione, la memorizzazione, l'analisi, l'elaborazione e la rappresentazione di dati.

In relazione ai molteplici contesti operativi, è facile individuare diversi modi di intendere un GIS che possono essere comunque sintetizzati in tre gruppi fondamentali, ciascuno caratterizzato dalla tendenza ad enfatizzare particolari aspetti più di altri.

Un primo approccio privilegia gli aspetti cartografici e affonda le sue radici nel lavoro di McHarg (1969) per trovare successivamente sostenitori in Berry (1987) e Tomlin (1991). In tal caso il GIS viene considerato anzitutto come sistema per il processo di produzione o di visualizzazione delle carte: ogni insieme di dati viene presentato attraverso la costruzione di una mappa.

Un secondo approccio enfatizza l'importanza di una banca dati ben progettata e implementata (Frank, 1988). Un sistema sofisticato per la gestione di un database è visto come parte integrante di un GIS: tale approccio è quello che predomina tra coloro

che si occupano dell'argomento avendo un retroterra culturale di tipo prevalentemente informatico.

Un terzo modo di intendere i GIS sottolinea l'importanza dell'analisi spaziale, ovvero della possibilità di accedere sia agli attributi degli oggetti sia alle informazioni sulla loro localizzazione (Goodchild, 1991).

2. Relazioni tra i GIS ed altri sistemi

Per meglio stabilire le peculiarità dei GIS è opportuno considerare le relazioni tra questi e altri Sistemi Informativi, concernenti il CAD, la cartografia al computer, la gestione di banche dati, la gestione e il trattamento di immagini telerilevate. Infatti, come osservano Newell e Theriault (1990), spesso i produttori di software tendono a definire GIS un qualsiasi programma capace di visualizzare mappe sullo schermo, per cui l'uso del termine è spesso improprio.

I sistemi CAD (*Computer Aided Design*) furono sviluppati per progettare nuovi oggetti: l'uso della grafica e più in particolare di simboli come primitive consente di rappresentare delle configurazioni nell'ambito del processo interattivo della progettazione. I collegamenti con il database risultano essere piuttosto limitati e vengono usate relazioni topologiche molto semplici e relativamente a una piccola quantità di dati (Newell e Theriault, 1990) .

I sistemi per la Cartografia computerizzata consentono la ricerca dei dati in archivio, la classificazione e la rappresentazione in automatico tramite simboli (Cowen, 1988). Viene comunque enfatizzata e quindi privilegiata la visualizzazione e la rappresentazione del dato piuttosto che la ricerca e l'analisi dello stesso. In definitiva, pur essendo previsto il collegamento col data base, l'elemento cardine di tali sistemi diventa la possibilità di disegnare mappe e produrre un output di alta qualità in formato vettoriale.

I sistemi per la gestione di banche dati (*DBMS, Data Base Management System*) consentono di archiviare e richiamare dati non grafici. Per i dati grafici, tali funzioni sono molto più limitate.

I sistemi per immagini telerilevate sono progettati per raccogliere, archiviare, trattare e visualizzare dati raster provenienti per lo più da scanners montati su aerei o piattaforme satellitari (Mather, 1987). Molto spesso questi sistemi hanno capacità limitate per trattare con dati vettoriali e per produrre mappe di alta qualità. Usualmente risultano essere molto scarse anche le capacità per operare sui dati relativi agli attributi e i collegamenti con i DBMS sono fortemente limitati.

I GIS hanno molte caratteristiche in comune con le quattro tipologie di sistemi sopra elencati, ma ci sono alcune funzioni aggiuntive che riguardano prevalentemente operazioni analitiche. Goodchild (1988) sostiene che la capacità dei GIS ad analizzare dati spaziali è un elemento chiave che consente di distinguerli da altri sistemi il cui scopo primario è la produzione di mappe. Cowen (1988) ritiene che l'analisi spaziale e la possibilità di sovrapposizione di mappe siano le sole operazioni che consentono di distinguere i GIS dagli altri sistemi.

3. Alcune precisazioni

Talvolta il termine GIS viene utilizzato in modo improprio, indicando con esso una o più componenti tecnologiche dell'intero sistema. Uno degli errori più frequenti consiste nell'identificare il GIS con la cartografia digitale o con la parte software, ovvero con la composizione delle due.

Alcuni ritengono che il sistema sia già da considerarsi realizzato allorquando si disponga delle basi cartografiche e di un programma in grado di leggerle; altri sono convinti che l'allestimento sia possibile ricorrendo unicamente alla scansione e all'eventuale "lucidatura" tramite CAD di tavole tematiche già realizzate su supporto cartaceo.

Presso le aziende private e le imprese pubbliche dove non è ancora giunta o per lo meno non si è ancora sufficientemente sviluppata una conoscenza appropriata di tali sistemi, è abbastanza diffusa la convinzione che il GIS sia una sorta di "pacchetto" preconfezionato, ossia un prodotto (rigido ed imm modificabile) da consegnare "chiavi in mano", da parte di fornitori esperti, ad un utente che dovrà solo imparare alcuni comandi per la consultazione.

Un altro elemento di ambiguità è presente in Italia nell'uso del termine GIS

come equivalente di SIT; taluni autori propongono però una distinzione tenendo conto che il l'aggettivo *geografico* sta ad indicare la terra o una parte di essa rappresentata ed indagata ai più diversi livelli di dettaglio, mentre *territoriale* è riferito ad una realtà giuridica, ovvero ad una entità delimitata da confini amministrativi. In base a tale distinzione un Sistema Informativo Territoriale è, ad esempio, quello che una Pubblica Amministrazione come la Provincia allestisce per gestire dei dati che riguardano la popolazione organizzata per singoli comuni; un Sistema Informativo Geografico, invece, è quello allestito per una realtà come il cratere di una zona sismica con tipologie di dati riferiti ad entità (aree omogenee per caratteristiche geologiche, orografiche, pedologiche, ecc.) che prescindono da confini amministrativi.

4. Cenni storici

Nel precedente paragrafo si è detto che il primo esempio di GIS è costituito dal sistema messo a punto dal Governo canadese negli anni '60. Nello stesso periodo contribuiscono all'approfondimento metodologico e allo sviluppo dei GIS una serie di iniziative realizzate negli USA dalla CIA, dalla Marina Militare e dall'Esercito: vengono messe a punto cartografie interattive, ovvero in grado di fornire dati su alcuni oggetti ivi rappresentati. In realtà le prime realizzazioni di cartine con l'impiego del computer risalgono agli anni '50, ma solo nel decennio successivo si concretizza la geocodifica, ovvero l'associazione di banche dati a rappresentazioni cartografiche.

Negli anni '70 una società privata statunitense, la *M&S Computing* (poi divenuta *Intergraph*) lavora per conto della NASA allo sviluppo di sistemi grafici georiferiti per il monitoraggio e controllo dei missili in tempo reale. Nello stesso periodo comincia in USA l'attività sui GIS da parte dell'Environmental Systems Research Institute (ESRI) che conquista il mercato grazie alla risoluzione di un problema tecnico concernente il trattamento e la rappresentazione di dati omogenei. Ed è sempre nel corso degli anni '70 che l'intensificarsi dei programmi di monitoraggio terrestre da satellite (è del 1972 il lancio del Landsat 1) fornisce un ulteriore impulso al diffondersi e allo sviluppo dei GIS; contemporaneamente la versatilità e le capacità di tali sistemi ne determinano l'adozione in molti stati degli USA per affrontare il problema della tutela ambientale.

Negli anni '80 il progredire delle tecnologie hardware determina un miglioramento delle rese grafiche dei GIS sia a video che sugli output cartacei;

importanti passi avanti vengono compiuti soprattutto nell'integrazione tra gestione informatizzata di banche dati e grafica computerizzata. Negli USA i GIS diventano sempre più diffusi a livello governativo: il loro utilizzo avviene a supporto della catalogazione e rappresentazione delle risorse ambientali (Forest Service, National Park Service), ma anche ai fini della pianificazione urbana e regionale (trasporti, sanità). Contemporaneamente il loro impiego avviene anche nel settore privato, principalmente per applicazioni di geomarketing, ovvero per la gestione georeferenziata di clienti e fornitori.

Solo negli anni '90 l'interesse per i GIS assume dimensioni apprezzabili anche nel nostro continente. A partire dal 1990 viene organizzata una Conferenza europea dedicata ai GIS; in Francia diviene operativo il Conseil National de l'Information Geographique, che si occupa del coordinamento delle attività per l'acquisizione ed elaborazione di dati geografici; si realizza il programma CORINE volto alla realizzazione di un Sistema d'informazione sullo stato dell'ambiente nella Comunità europea.

Nello stesso periodo in Italia l'Associazione dei Geografi Italiani (AgeI) dà vita ad un gruppo di lavoro dedicato ai GIS; tali sistemi si diffondono sempre più presso le Pubbliche Amministrazioni. Agli inizi degli anni '90 circa il 90% delle installazioni è utilizzato da Regioni, Province, Comuni ed altri Enti dell'Amministrazione Centrale e locale, mentre il restante 10% è costituito da realtà private (Gattullo, 1997).

5. Campi di applicazione

Le molteplici possibilità operative fornite dai GIS, unitamente alla progressiva diminuzione dei costi delle attrezzature informatiche a fronte di sempre più potenti prestazioni, hanno contribuito in maniera determinante alla diffusione di questi sistemi in diversi settori scientifici, istituzionali e perfino commerciali, dalla pianificazione territoriale ed urbanistica al controllo della navigazione e del traffico marittimo, dalle scienze della terra al business management.

La ricerca di base, la progettazione e la realizzazione dei GIS coinvolgono oramai professionalità e competenze diverse, ovvero tecnici e ricercatori che operano nel campo dell'informatica, della statistica, della topografia, ecc.

6. Le componenti di un GIS

Un Sistema Informativo Geografico comprende 4 elementi fondamentali:

- la parte *hardware*
- la parte *software*
- la banca dati
- gli operatori.

La parte *hardware* può essere costituita da qualsiasi piattaforma di *computer*, includendo sia PC relativamente modesti, sia *workstation* ad alte prestazioni, *minicomputer* e *mainframe computer*.

In aggiunta ai tradizionali dispositivi per l'immissione dei dati, l'archiviazione e l'emissione, sono richieste speciali periferiche sia per l'input (per esempio *scanner* e *digitizer*), sia per l'output (per esempio *plotter*).

La scelta della piattaforma *hardware* di un GIS è legata a diversi fattori, quali:

- l'entità e la tipologia dei dati da gestire;
- la compatibilità con i *software* da utilizzare;
- la disponibilità di risorse economiche;
- la necessità di utilizzare ed eventualmente adattare e potenziare macchine già esistenti (si pensi al caso dell'introduzione dei GIS presso pubbliche amministrazioni già dotate di *computer* ed altre attrezzature).

Nello scegliere il tipo di *hardware* per la realizzazione di un Sistema Informativo Geografico, è necessario tenere conto anche del problema dell'obsolescenza: l'evoluzione delle tecnologie rende ben presto superate le configurazioni prescelte, per cui sono da preferirsi sistemi presentanti caratteristiche standard che garantiscono nel tempo un più alto livello di compatibilità con le nuove strumentazioni.

La maggior parte dei programmi commerciali finalizzati alla realizzazione di un GIS ha parecchie centinaia di comandi e una ampia varietà di funzioni. Il *software* deve comunque soddisfare una serie di requisiti fondamentali imposti dalle esigenze operative e concernenti, ad esempio, la velocità, l'affidabilità, l'interfacciamento con

altri programmi e così via. Il livello di soddisfacimento di tali requisiti contribuisce a stabilire la qualità del programma in questione.

Per quanto concerne i dati in un GIS, questi vengono solitamente distinti in:

- dati geografici;
- attributi.

I dati geografici riguardano direttamente la configurazione dei luoghi e permettono di realizzare un modello rappresentativo (bidimensionale o tridimensionale) della realtà. Essi possono essere di diversa provenienza, ottenuti già in formato digitale (file di cartografia numerica, immagini telerilevate, dati GPS, ecc.) oppure all'uopo prodotti attraverso la numerizzazione (scansione o digitalizzazione) di documenti cartacei.

Tali dati vengono strutturati secondo gli schemi della cartografia numerica, ovvero in **formato raster** o in **formato vettoriale**.

Nel primo caso, la mappa viene descritta sotto forma di immagine, ovvero tramite una matrice numerica di m righe ed n colonne, dove ciascun elemento (*pixel*) contribuisce alla costruzione della rappresentazione iconografica così come avviene per una tessera di un mosaico, recando in definitiva una duplice informazione: l'una di carattere geometrico relativa alla posizione, l'altra di tipo radiometrico concernente la tonalità di colore associato.

Nell'altro caso, la rappresentazione grafica è resa possibile attraverso l'impiego di primitive geometriche, quali il punto e la linea: il primo viene individuato da una coppia di coordinate cartesiane (x,y); la seconda da una successione di coppie di coordinate corrispondenti agli estremi dei segmenti costituenti la linea stessa. In definitiva il formato in questione si basa sull'utilizzo di un elemento base, il vettore, attraverso il quale è possibile costruire qualsiasi geometria, anche la più complessa: un punto è individuato da un vettore di modulo nullo, una spezzata da una sequenza di vettori, un poligono da una sequenza di vettori tali che il punto di inizio del primo è punto di fine per l'ultimo.

Il formato vettoriale è quello che si presta meglio a descrivere le entità geografiche così come presentate nella tradizionale cartografia al tratto. Per quanto arricchita graficamente mediante simboli e colori, l'informazione rimane relativamente più scarna e sintetica; tuttavia essa assicura ampie possibilità di elaborazione dei dati, non solo geometrici, soprattutto perché consente di effettuare associazioni anche molto

complesse ed articolate con gli elementi dell'archivio alfanumerico.

Il formato *raster*, attraverso la ripetizione del pixel consente di riprodurre fedelmente qualsiasi documento e quindi assicura un output delle mappe visivamente coincidente col prodotto cartografico di partenza. Tuttavia il modello presenta delle forti limitazioni per la realizzazione dell'analisi spaziale: gli oggetti presenti in una immagine *raster* non sono interpretati dal calcolatore come tali, ma vengono considerati come insieme di cellette della matrice complessiva, a meno che non si adoperino programmi molto complessi. Inoltre i file *raster* risultano di difficile gestione a causa della loro consistenza, ovvero per il considerevole spazio richiesto per l'archiviazione

I notevoli inconvenienti legati al formato *raster* favoriscono la diffusione di *software* per GIS basati essenzialmente sul tipo vettoriale dove comunque permangono alcune funzioni, generalmente limitate, riservate alle immagini.

Gli attributi sono costituiti da dati alfanumerici o anche iconografici (con funzione diversa da quella utilizzati per l'archivio geometrico) che vengono associati agli elementi dell'archivio spaziale.

L'acquisizione dei dati, siano essi geografici o alfanumerici o iconografici, comporta un notevole dispendio di risorse, con costi generalmente maggiori di quelli relativi all'acquisto dell'*hardware* e del *software*. Da uno studio compiuto in USA da Rowley e Gilbert (1989), risulta che verso la fine degli anni '80 le spese per l'acquisizione ed immissione dei dati richiedevano il 70% dell'investimento necessario per l'implementazione del GIS. Successivamente le statistiche indicano una progressiva diminuzione di tali costi, soprattutto per quanto attiene l'acquisizione dei dati geografici. Ciò è dovuto al fatto che esiste sul mercato una crescente disponibilità di cartografia digitale, prodotta sia da enti pubblici che da società private. Soprattutto queste ultime, però, non sempre accompagnano l'intensificazione della produzione con la garanzia di qualità del dato.

Diventa pertanto fondamentale, soprattutto per gli aspetti cartografici, il concetto di **metadato** che, con una semplice ed efficace espressione, può essere definito come il *dato relativo al dato*, ovvero come una sorta di stringa che *describe* il dato fornendo informazioni sulla sua origine e sul livello di qualità che lo caratterizza.

Il quarto elemento significativo di un GIS è costituito dall'insieme delle professionalità che partecipano alle fasi di progettazione, realizzazione e funzionamento del sistema: senza personale specializzato un GIS non può consentire il raggiungimento di risultati soddisfacenti.

7. L'organizzazione delle banche dati nei GIS

La gestione degli attributi associati agli elementi geometrici può avvenire attraverso diverse modalità procedurali. In particolare si riscontrano 4 tipi fondamentali di data Base Management System (DBMS):

- gerarchico
- reticolare
- relazionale
- a oggetti

Nei DBMS di tipo **gerarchico** i dati vengono organizzati secondo uno schema ad albero: il singolo record presenta un solo collegamento con l'elemento gerarchico immediatamente superiore, mentre può presentare collegamenti con più record posti a livello inferiore. Sono consentite le operazioni di passaggio lungo i rami della gerarchia sia nella direzione che va dall'alto in basso, sia in quella opposta. Non essendo previsti passaggi trasversali che possano uscire fuori dallo schema gerarchico (la qual cosa, tra l'altro, finirebbe per snaturare il sistema stesso) risulta complicato effettuare operazioni di ricerca e gli stessi tempi di elaborazione e quindi di attesa susseguenti ad una query, possono risultare piuttosto lunghi rispetto a quelli relativi ad altre tipologie di DBMS. Dopotutto la stessa natura dei legami esistenti tra le diverse categorie di dati non trova riscontro nella rigidità dello schema gerarchico che di conseguenza trova scarse applicazioni nei GIS.

Il modello **reticolare** viene anche indicato come CODASYL poiché basato sulle proposte avanzate dal Database Task Group della Conference on Data SYstem Language, l'organizzazione inizialmente responsabile per la definizione del linguaggio di programmazione COBOL. Queste proposte vennero poi sviluppate dando vita a prodotti come IDMS e MDBS III. La differenza principale tra il modello gerarchico e quello reticolare sta nel fatto che in quest'ultimo un elemento può essere collegato anche a più di un solo elemento di livello superiore (Martin, 1976).

Ciascuna entità con i suoi attributi è considerata un nodo in un reticolo. Le relazioni sono rappresentate come legami nella forma di puntatori tra entità individuali appartenenti a set diversi.

Questa organizzazione dei dati è più efficiente, ma anche più complessa, per cui viene richiesto un maggiore dispendio di risorse di calcolo. Per tale motivo la possibilità di utilizzo risulta essere più limitata.

Il modello **relazionale** fu realizzato per la prima volta da Codd (1970). Rispetto agli altri approcci risulta essere molto più semplice, in quanto tutti i dati sono rappresentati in tabelle (relazioni) di righe e colonne. Ciascun insieme di entità è rappresentato da una tabella, mentre ciascuna riga nella tabella rappresenta i dati per una singola entità. Ciascuna colonna contiene i dati su uno solo degli attributi relativi all'insieme di entità contenuti nella tabella. Diversamente da altri tipi di database, con questo modello è possibile rappresentare relazioni tramite tabelle, per cui non è necessario ricorrere a puntatori o legami tra i record.

In pratica le tabelle vengono collegate tra loro tramite campi di legame comuni (ovvero presenti su tutte) e allo stesso modo possono essere collegate alle primitive della cartografia numerica, purché queste presentino uno o più campi in comune con la base dati relazionale.

I legami reciproci tra le tabelle non sono bloccati e per la loro costruzione non sono necessarie particolari operazioni. Ne consegue che tali legami possono essere aboliti o istituiti in qualsiasi momento perfino durante la fase di gestione, anche se non sia stato previsto un cambiamento in fase di progettazione.

I concetti principali che caratterizzano il modello relazionale sono:

Relazione (*relation*): tabella bidimensionale (per evitare confusione chiamata anche semplicemente tabella (*table*)).

Attributo (*attribute*): vale a dire la colonna della tabella, chiamato anche colonna (*column*) e campo (*field*).

Dominio di un attributo (*domain*): l'insieme dei valori ammissibili per quell'attributo.

Tupla (*tuple*): cioè la riga (*row*) della tabella, chiamata anche record.

Chiave (*key*): vale a dire l'attributo/colonna della tabella o insieme di colonne il cui valore identifica in modo univoco la tupla.

Una relazione fra due classi A e B può essere:

1 a 1 (uno-a-uno): in tal caso essa fa corrispondere 1 entità di A ad 1 entità di B. Possono esistere elementi di A oppure di B che non hanno corrispondenti nella relazione, ma non può esistere alcun entità, né di A né di B, che compaia due volte, abbinata con entità diverse.

1 a N (uno-a-molti): in tal caso ad un'entità di A possono corrispondere più entità di B.

Non è, invece possibile che la stessa entità di B corrisponda a entità distinte di A.

N a M (multi-a-molti): in tal caso a entità distinte di A possono corrispondere entità distinte di B e viceversa.

La rigosità e semplicità di tale rappresentazione nonché la facilità di costruzione e modifica hanno contribuito moltissimo ad una rapida adozione del modello relazionale per i DBMS nell'ambito dei GIS (e non solo).

I vantaggi dei sistemi relazionali possono essere così riassunti:

- rigosità della metodologia di progettazione basata su fondamenti teorici matematici;
- capacità di costituire la più generale forma di rappresentazione dei dati (tutte le altre strutture dei data base possono essere ricondotte a un insieme di tabelle relazionali);
- facilità di costruzione e di impiego rispetto agli altri modelli;
- estrema facilità di modifica, per cui nuove tabelle e nuove colonne possono essere aggiunte senza difficoltà;
- flessibilità nelle operazioni di ricerca

Il principale svantaggio risiede nei lunghi tempi di attesa per le operazioni di query qualora siano investiti molti legami di relazione; tuttavia a tale inconveniente si può tentare di ovviare aumentando le capacità operative dell'hardware.

I vantaggi dell'approccio relazionale e la disponibilità di software da parte di grandi casi produttrici come ORACLE, INGRES e DB2 hanno contribuito moltissimo ad una rapida adozione di questo modello per i DBMS nell'ambito dei GIS e non solo (Healey, 1991).

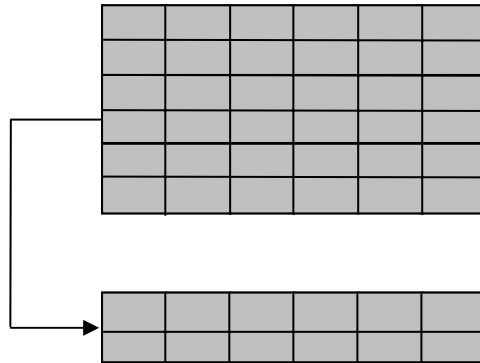


Esemplificazione del modello relazionale: i dati sono organizzati in tabelle e il legame tra le primitive della cartografia numerica (tab. 1) e gli attributi descrittivi delle stesse è possibile in virtù della colonna comune (codice identificativo)

Le interrogazioni sul database avvengono attraverso strumenti definiti operatori, dei quali i più comuni sono tre, denominati rispettivamente:

- ❑ selezione (select);
- ❑ proiezione (projection);
- ❑ giunzione (join).

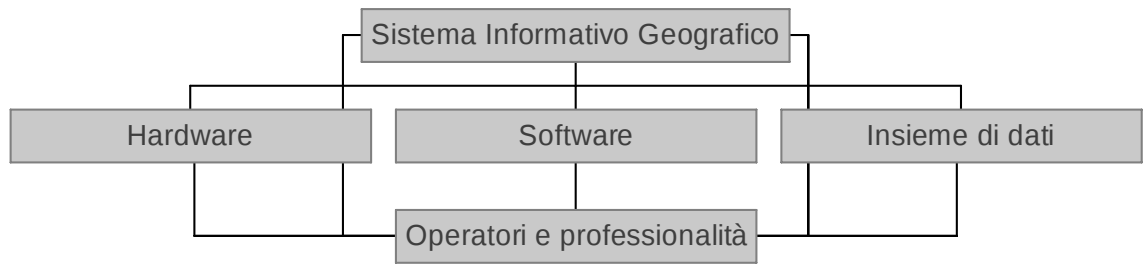
Operando su una sola tabella una **selezione** estrae da questa un sottoinsieme delle sue tuple. In definitiva, partendo da una tabella A, si ricava da essa una nuova tabella B costituita dallo stesso numero di colonne e un numero minore (o tutt'al più uguale) di righe.



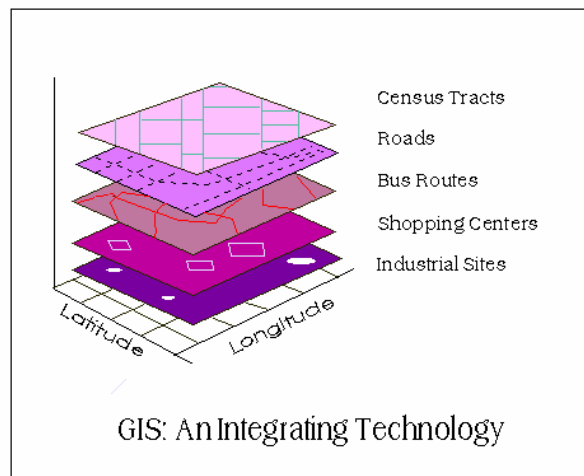
Schematizzazione dell'operazione di selezione

Una **proiezione** opera su una sola tabella ed estrae da essa un sottoinsieme dei suoi record. In definitiva, partendo da una tabella A, si ricava da essa una nuova tabella C costituita dallo stesso numero di righe e da un numero minore (o tutt'al più uguale) di colonne.

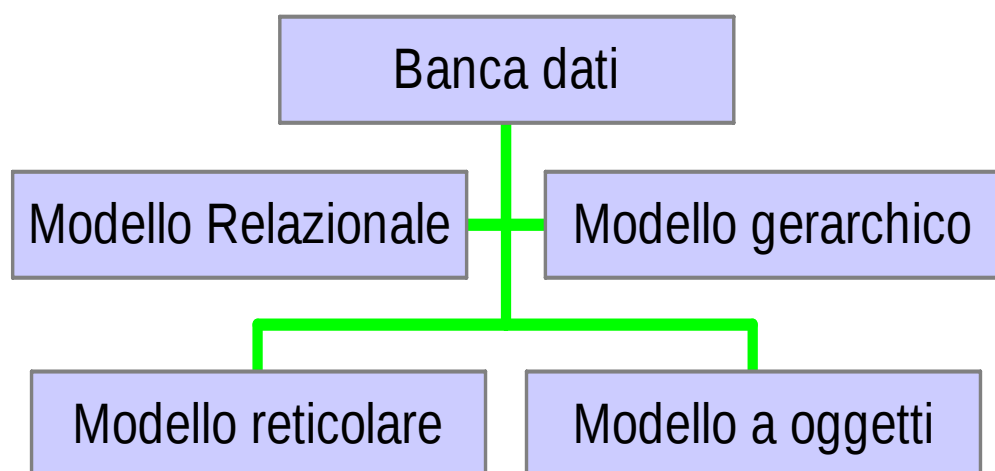
La **giunzione** opera su due tabelle producendone una nuova. In questo caso, le colonne della nuova tabella saranno composte da quelle della prima e da quelle della seconda, mentre le righe saranno in numero variabile.



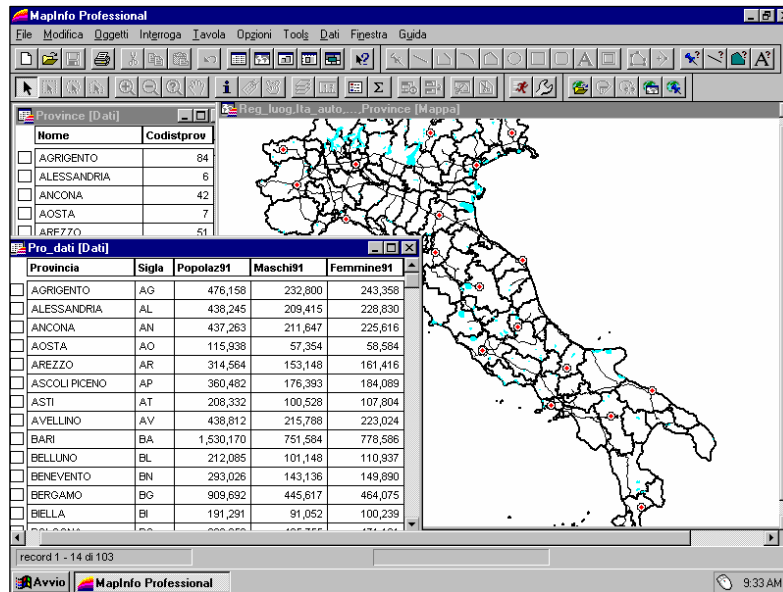
Le principali componenti di un GIS



La struttura a layer nei GIS



L'organizzazione delle banche dati



Organizzazione dei dati tramite tabelle collegate alle primitive geometriche in un GIS allestito con il software MapInfo della MapInfo Corporation

8. Funzioni GIS

La finalità principale che accomuna le diverse applicazioni GIS è quella di avere una banca dati georiferita che possa essere non solo facilmente accessibile, ma anche modificabile, nonché arricchita da una serie di strumenti atti a garantire possibilità di analisi ed elaborazione. Per soddisfare tali esigenze è necessario che il sistema sia provvisto di *hardware* idoneo e, contestualmente, di *software* in grado di assicurare il controllo e la realizzazione di diverse operazioni concernenti (Bitelli, 1995):

- l'immissione dei dati nell'archivio;
- la strutturazione e memorizzazione delle informazioni;
- la consultazione e l'aggiornamento del database geometrico e alfanumerico;
- l'elaborazione e l'analisi dei dati;
- la visualizzazione e la produzione dei dati in uscita.

In definitiva il GIS deve essere provvisto di un *software* articolato in più moduli

ovvero di più *software* integrati tra loro che consentano di svolgere una serie di funzioni, prevedendo anche possibilità di impiego di linguaggi di programmazione per ovviare ad eventuali e specifiche situazioni non contemplate in fase di progettazione.

L'operazione di ***immissione dei dati nell'archivio*** consiste nell'introdurre nel sistema una serie di dati che possono essere già in formato digitale oppure, in caso contrario, richiedere la realizzazione del processo di digitalizzazione.

Per i dati geografici non forniti su supporto digitale si procede secondo i canoni della cartografia numerica ovvero realizzando la scansione o vettorializzazione delle mappe già esistenti oppure elaborando immagini fotogrammetriche o ancora utilizzando dati di rilievi topografici non fotogrammetrici .

I file prodotti saranno di tipo vettoriale oppure *raster*.

Gli attributi, qualora non ancora in formato digitale, vengono immessi da tastiera oppure utilizzando strumenti più sofisticati come i lettori e gli interpreti ottici (*Optical Character Recorders, OCRs*) che consentono di numerizzare i documenti testuali su supporto cartaceo attraverso l'operazione di scansione e successivo riconoscimento dei caratteri alfanumerici.

Dopo aver prodotto i file relativi alla cartografia in formato *raster* o in formato vettoriale, risulta necessario verificare l'esattezza geometrica della rappresentazione ed operare eventualmente una trasformazione delle coordinate.

La ***strutturazione e memorizzazione delle informazioni*** avviene attraverso l'impiego del formato *raster* e/o di quello vettoriale per i dati geometrici e mediante la costruzione di data base (gerarchico, reticolare, relazionale) per gli attributi. L'impiego di modelli ad oggetti consente l'integrazione tra le due diverse tipologie di dati.

La ***consultazione e l'aggiornamento del data base geometrico ed alfanumerico*** rende necessarie una serie di funzioni così schematizzabili:

- interrogazione del database (principalmente tramite linguaggio SQL);
- calcolo automatico di dati geometrici (distanze, aree, volumi);
- calcolo di parametri statistici sia sui dati grafici che su quelli alfanumerici;
- modifica interattiva o procedurale dei dati geometrici e degli attributi.

Le operazioni di ***elaborazione*** ed ***analisi*** vengono realizzate attraverso l'applicazione di algoritmi e l'interfaccia con modelli matematici, quali quelli di

simulazione.

Per la **visualizzazione** dell'informazione il *software* deve garantire alcune funzioni che consentano di assegnare e modificare in maniera interattiva i parametri di rappresentazione (risoluzione, zoom, ecc.) e di sovrapporre i livelli informativi (*layers*); per la **produzione dei dati in uscita** deve essere consentita l'esportazione secondo formati di interscambio standard, nonché out-put grafici su dispositivi periferici (*plotter* a penna, *plotter* a getto d'inchiostro, ecc.).

9. Analisi spaziale

L'analisi spaziale costituisce la prerogativa fondamentali di un GIS ed include tutte le trasformazioni, manipolazioni e metodi che possono essere applicati ai dati geografici per aggiungere valore ad essi, in definitiva per ricavare dagli stessi ulteriori informazioni. In realtà alcuni metodi di analisi spaziale risultano già definiti prima della nascita dei GIS e le prime applicazioni sono addirittura antecedenti all'avvento del PC. A titolo di esempio si può citare lo studio condotto dal Dottore John Snow (oggi riconosciuto come il padre della moderna epidemiologia) per l'individuazione della causa di un'epidemia di colera che colpì Londra nel 1854. La mappatura della localizzazione delle residenze delle vittime per il distretto di Soho è opera dello stesso Snow, assertore della teoria che il colera si diffondesse attraverso l'assunzione di acqua contaminata piuttosto che per trasmissione aerea. Lo studioso notò che la mappatura dei diversi casi di colera evidenziava al centro della stessa, nella Broad Street, la presenza di una fontana di approvvigionamento idrico che poteva ritenersi come la causa delle infezioni. C'era però un'anomalia: alcune delle residenze in cui si erano verificati casi mortali di contagio risultavano più vicine ad altre fontane, ma indagini in sito dimostrarono che le persone in questione erano solite bere acqua dalla fontana incriminata. L'esattezza delle deduzioni di Snow divenne evidente allorché la fontana fu resa inefficiente ed il propagarsi di nuovi casi di colera cessò.

Un altro esempio di realizzazione di analisi spaziale è costituito dallo studio condotto in Gran Bretagna da Stan Openshaw e da alcuni suoi colleghi dell'Università di Leeds per l'individuazione di possibili cause del verificarsi di leucemia infantile (Openshaw et al., 1987). Vennero presi in esame due datasets, l'uno relativo ai casi accertati della patologia in esame per l'area nell'Inghilterra del Nord, dal Mersey al Tyne, l'altro riguardante il numero di persone a rischio, per la stessa patologia ed area

geografica, in riferimento a singole unità demografiche censite. Sulla rappresentazione cartografica furono tracciati numerosi cerchi di raggio differente e distribuiti in maniera casuale: attraverso l'impiego del computer si analizzò il contenuto di ciascun cerchio, ovvero se ne determinò il rapporto tra il numero di casi accertati e la percentuale di persone a rischio. Se il rapporto risultava alto, il cerchio veniva tracciato sulla cartina definitiva: ne risultò una concentrazione dei cerchi in due zone ben precise: la prima localizzata attorno a Sellafield, località ove sorgono una centrale nucleare e un sito di stoccaggio di materiali radioattivi; la seconda (in alto a destra) è posta nella regione del Tyneside ed Openshaw ed i suoi colleghi fecero ulteriori indagini sulle cause di tale localizzazione.

Le operazioni di analisi spaziale possono essere molteplici. In accordo con taluni autori (Longley et al, 2001), si possono individuare almeno 6 tipologie:

- query;
- misure;
- trasformazioni;
- sommari descrittivi,
- ottimizzazioni;
- verifiche.

9.1. Query

Le query sono le operazioni base dell'analisi spaziale mediante le quali il GIS risponde a precise domande poste dall'utente. Nessuna variazione è introdotta nel database, né vengono prodotti nuovi dati, a meno che l'utente non attivi tale opzione salvando i risultati dell'operazione come nuovo file. Le operazioni variano da semplici e ben definite interrogazioni ("quante scuole elementari ci sono nel raggio di 1500 m da questo punto?") a domande più complesse ed articolate ("quante sono le chiese presenti in questa città, realizzate tra il XV ed il XVI secolo, accessibili al turista nei giorni feriali?").

Le interrogazioni sono generate mediante puntamento sulla cartografia, o digitalizzando la frase, o scorrendo un menù e cliccando su alcuni bottoni, o formulando una richiesta in linguaggio SQL. Le interfacce per le interrogazioni sono comunque

molto versatili e si sta lavorando alla possibilità di chiedere informazioni al sistema direttamente in modalità vocale, opzione particolarmente utile per l'impiego di GIS a bordo di veicoli, dove ricorrere a convenzionali modalità basati su tastiera e sistemi di puntamento finirebbe col distrarre il conducente dalla guida.

Le interrogazioni sono possibili anche ricorrendo ad un catalogo di presentazione del database. Il software ArcGIS, ad esempio, dispone di un modulo, denominato ArcCatalog che consente di esplorare l'archivio GIS, distinguerne i formati ed i contenuti (apposite icone, ad esempio, differenziano i database dai raster, mentre distinguono i file vector in grafici contenenti punti, polilinee o poligoni), visualizzare i dati in anteprima (preview geografica o tabellare), leggerne le caratteristiche cartografiche e di genesi presenti nel metadato (quali dettagli su sistemi di coordinate e datum).

Il legame presente tra le entità della cartografia vettoriale e gli attributi inseriti nelle relative tabelle consente ogni qual volta si selezionino degli elementi di una carta, che risultino evidenziati gli stessi in due differenti viste, quella della mappa e quella del database.

Anche l'identificazione costituisce un esempio semplificato di interrogazione: utilizzando un apposito comando (ad esempio *i - identifica* in MapInfo) e cliccando su una entità vettoriale (quali un punto che simboleggia una città, o un'area che individua uno stato) è possibile leggere a video la selezione della corrispondente riga della tabella associata all'entità medesima (quali il nome, il numero di abitanti al 1981 e al 1991, il reddito medio procapite, ecc.). La selezione di dati geografici e la visualizzazione degli stessi in maniera differente (forma tabellare, cartografica, diagrammata) costituiscono esempi di analisi spaziale esplorativa

9.2. Misure

Tali operazioni consentono di ottenere valori numerici che descrivono proprietà e relazioni di oggetti rappresentati nel database spaziale in riferimento ad unità di misura prestabilite dall'utente. In tal modo diviene possibile conoscere, ad esempio, la distanza tra due punti, la lunghezza di un percorso, la superficie di una contea, il volume di terreno compreso tra due curve di livello.

Le misure effettuate manualmente sulla cartografia risultano particolarmente tediose, nonché affette da considerevoli errori: le stesse operazioni risultano agevoli ed attendibili quando si ricorre al computer; proprio la possibilità di determinare in automatico le aree fu uno dei motivi che spinse alla realizzazione del primo GIS (vedi

cenni storici). Ad esempio, per calcolare la superficie di un poligono in maniera manuale, si può ricorrere al metodo *dot-counting*: utilizzando un foglio trasparente su cui sono stampati dei punti, si contano quelli che ricadono all'interno di un oggetto così da stabilirne l'estensione.

Viene di seguito illustrato un possibile algoritmo per il calcolo delle aree. Si consideri il quadrilatero ABCD, del quale siano note le coordinate dei vertici. Il poligono è delimitato da quattro lati, tre indicati con linee continue (AB, BC, CD) ed uno rappresentato con linea tratteggiata (DA). Inizialmente viene determinata l'area dei tre trapezi ABB'A', BCC'B, CDD'C' con la formula:

$$S = \frac{(y_1 + y_2) * (x_2 - x_1)}{2}$$

dove risulta:

x_1 = ascissa del punto di applicazione del vettore rappresentativo del lato del poligono;
 y_1 = ordinata del punto di applicazione del vettore rappresentativo del lato del poligono;
 x_2 = ascissa del punto finale del vettore rappresentativo del lato del poligono;
 y_2 = ordinata del punto finale del vettore rappresentativo del lato del poligono.

L'algoritmo prevede poi il calcolo dell'area del trapezio ADD'A': impiegando la stessa formula sopra indicata, tale area risulta negativa in quanto l'ascissa (x_1) del punto di applicazione del vettore DA è maggiore dell'ascissa (x_2) del punto finale dello stesso vettore. Effettuando la somma delle superfici dei quattro trapezi, si ricava l'area del quadrilatero ABCD.

È ovvio che il calcolo delle aree con l'impiego del PC è esente dagli errori che inevitabilmente accompagnerebbero la procedura manuale. I software GIS determinano le aree proprio con la procedura illustrata per il quadrilatero: anche nel caso di poligoni più complessi, vengono calcolate le superfici dei trapezi individuati dai lati e dall'asse x ricorrendo alle coordinate dei vertici (con l'impiego della citata formula) e poi se ne effettua la somma.

Per il calcolo di distanze, nel caso di rappresentazioni piane si ricorre al teorema di Pitagora. Dati due punti di coordinate note A (x_1, y_1) e B (x_2, y_2), la distanza D che li separa è data da:

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

La formula prevede ovviamente che le coordinate di A e B siano nello stesso sistema e siano piane (ad esempio: coordinate piane Est e Nord nel sistema UTMED50 o nel sistema Gauss-Boaga Roma40). Qualora dei punti A e B siano note la latitudine e la longitudine, la formula suddetta non è applicabile.

Il calcolo della distanza tra due punti su una superficie curva richiede un approccio più laborioso di quello adottato per il caso piano: il più breve percorso (geodetica) tra due punti A e B è, nel caso della terra supposta sferica, l'arco della circonferenza massima passante per tali punti.

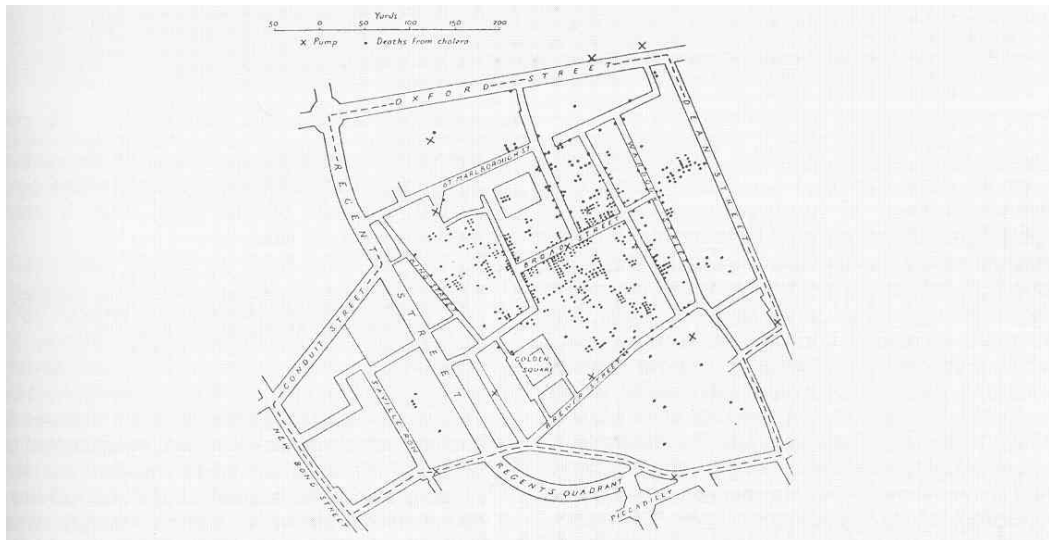
La situazione si complica ulteriormente nel caso del modello ellissoidico.

In molte applicazioni GIS l'impiego del teorema di Pitagora e della formula relativa all'arco di circonferenza massima consente di determinare la lunghezza di un percorso: se questo è individuato da una linea formata da più elementi consecutivi, la relativa misura è determinata dalla somma delle distanze tra vertici successivi. Questo approccio causa tuttavia due diversi tipi di errore.

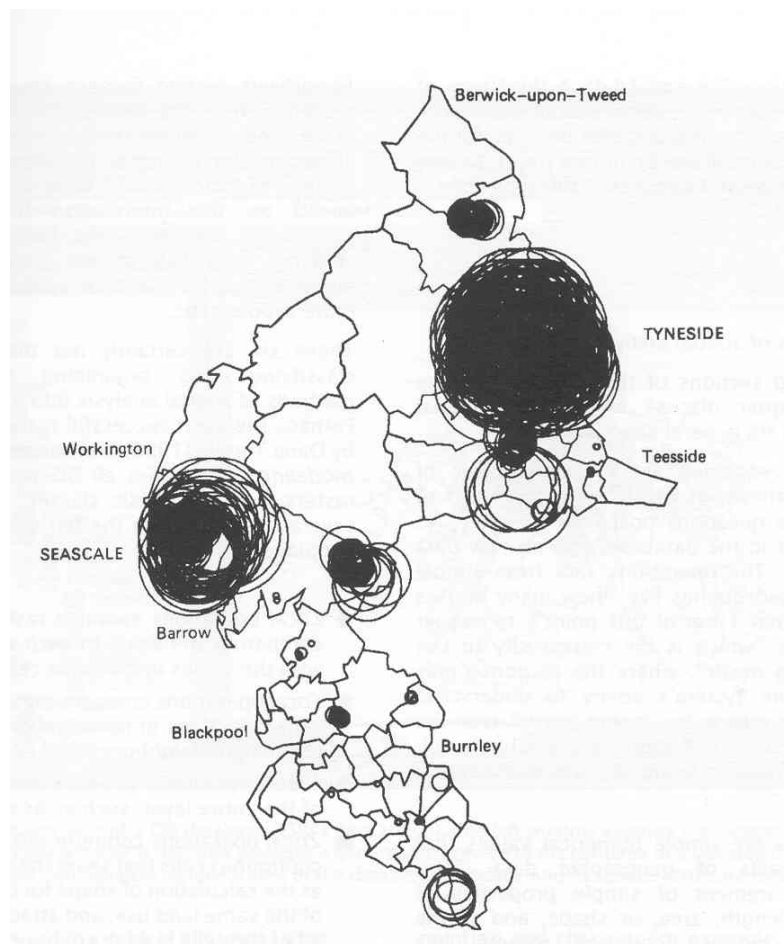
Il primo è originato dal fatto che una polilinea è spesso solo una semplificazione della effettiva geometria di un oggetto: si pensi in proposito al corso di un fiume che difficilmente presenta spigoli vivi, per cui la polilinea *a* che la rappresenta è solo una semplificazione dell'effettivo andamento *b* di tipo "smussato". Ne consegue che l'applicazione del teorema di Pitagora per il calcolo delle distanze tra due vertici successivi e la successiva somma dei risultati producono un risultato sicuramente inferiore al numero che ne esprime la misura. Ovviamente ci sono delle eccezioni: il calcolo è attendibile per quei percorsi che effettivamente presentano un andamento a spigoli vivi (si pensi alle strade di un quartiere a scacchiera di una moderna metropoli come San Francisco o New York), così come pure nel caso di alcune perimetrazioni. Nel caso del calcolo delle aree, non si può affermare che il risultato ottenibile è comunque inferiore a quello reale, poiché l'approssimazione genera localmente ora delle dilatazioni ora delle contrazioni.

Il secondo errore che si commette è dovuto al fatto che la determinazione della lunghezza di un percorso è in realtà riferita alla proiezione piana dello stesso: il percorso

effettivo sulla terra è tridimensionale e risulta maggiore di quello ricavabile in un GIS 2d che ne rappresenta solo la proiezione sul piano xy. Per quanto attiene poi il calcolo delle aree, se si considera ad esempio una unità amministrativa, il software GIS fornisce la proiezione piana dell'effettiva superficie che, a causa della sfericità della terra e della variabilità dell'altimetria, è più grande.

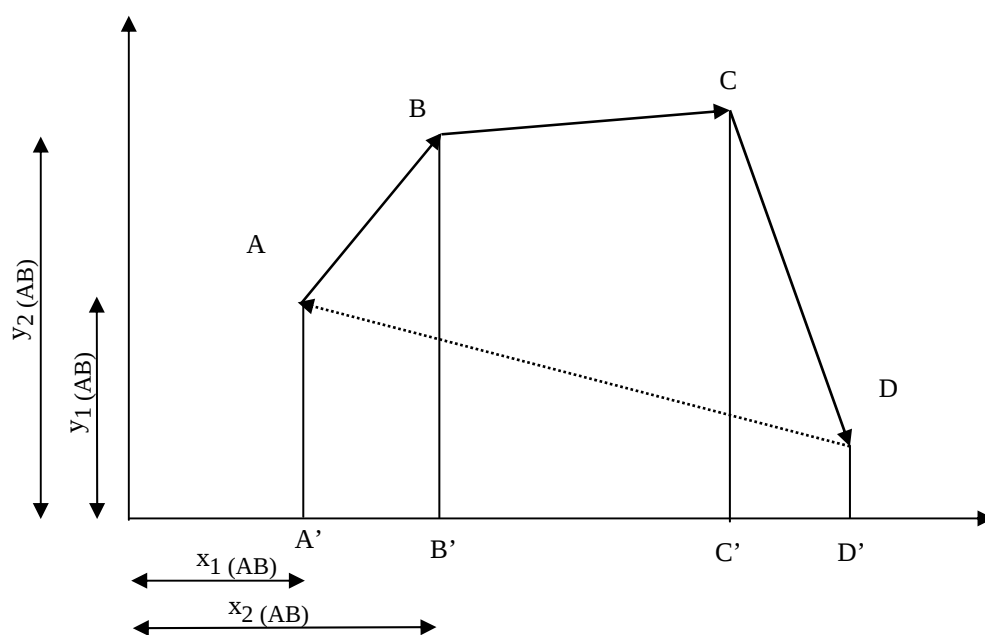


Una ristampa della mappa redatta dal Dott. John Snow nel 1854 per l'individuazione della causa della diffusione del colera a Londra

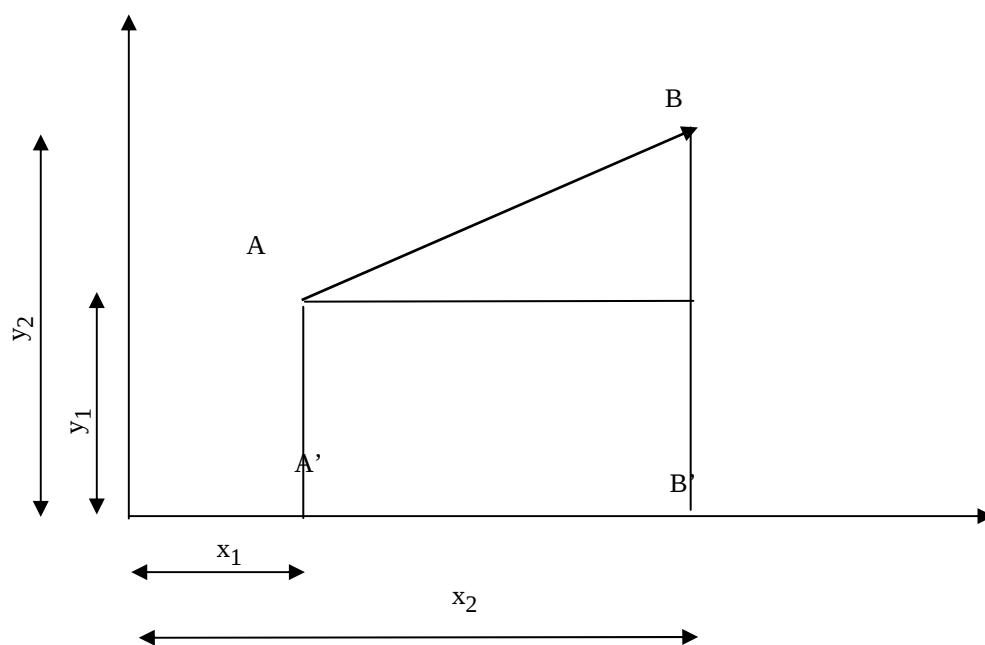


La carta realizzata da Openshaw e i suoi colleghi dell'Università di Leeds per

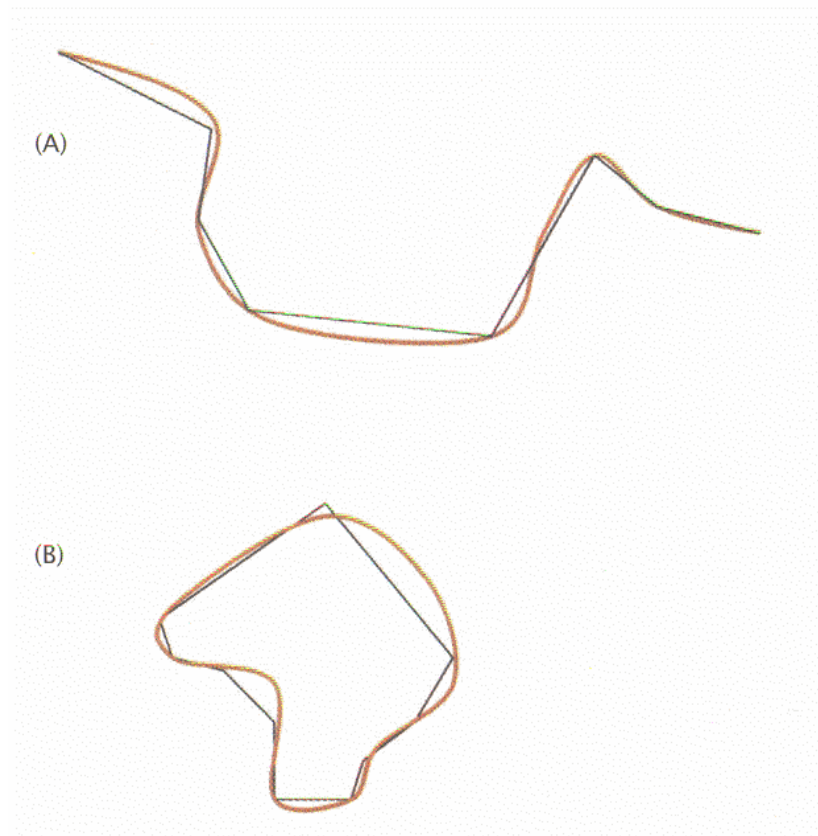
individuare le cause dei casi di leucemia infantile in Inghilterra



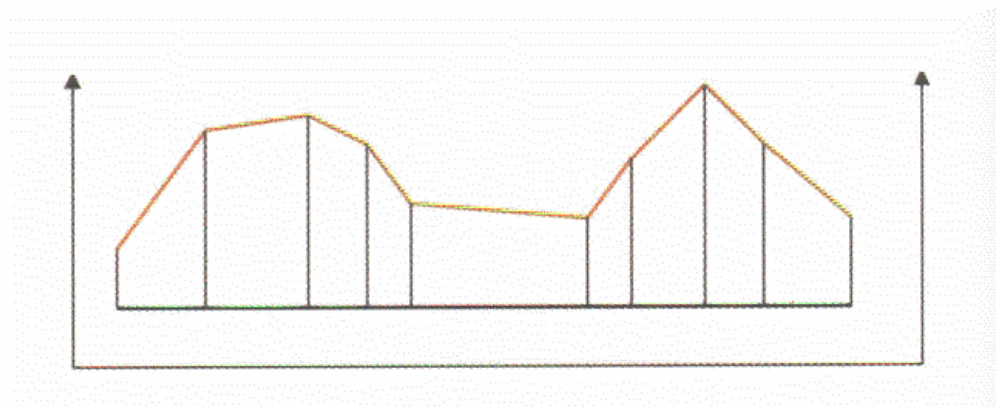
Il Calcolo delle aree con l'impiego di trapezi rettangoli



Il calcolo delle distanze



***La polilinea ha sempre lunghezza inferiore a quella della linea reale che rappresenta;
l'area racchiusa da una polilinea chiusa non presenta un errore sistematico ed
inoltre le aree incluse tendono a bilanciare quelle escluse***



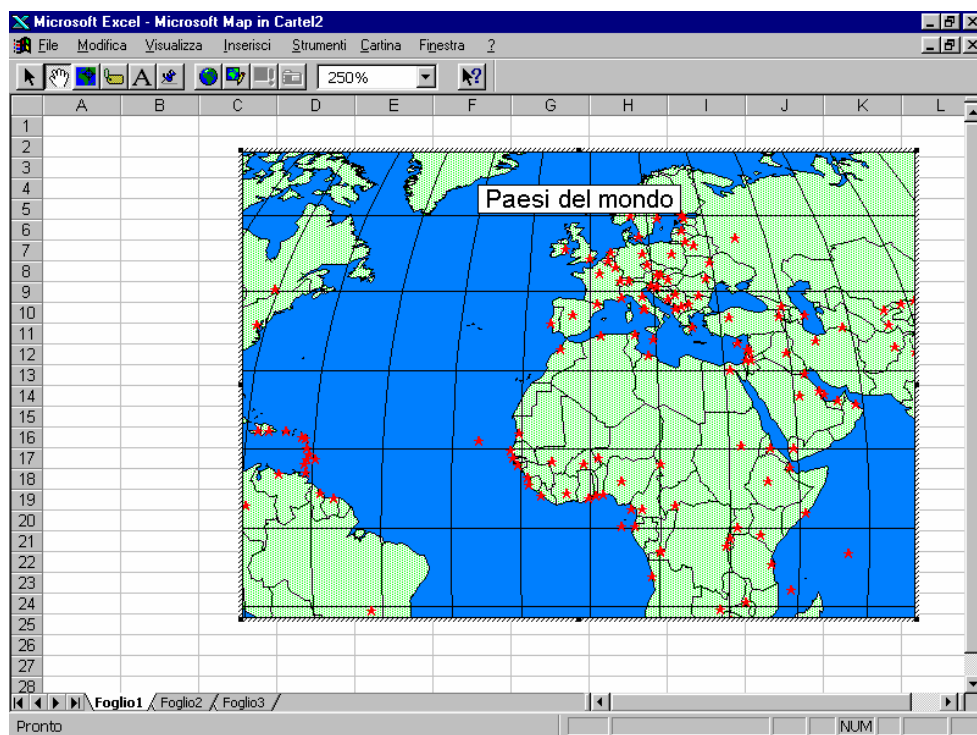
***In un GIS 2d la lunghezza di una polilinea è calcolata in riferimento alla proiezione
piana della stessa: non tenendo conto dell'effetto dell'altimetria la lunghezza fornita
è inferiore a quella reale***

10. I software GIS

Vengono di seguito illustrate le caratteristiche di due software GIS, MapInfo ed ArcView.

10.1. Caratteristiche generali del software GIS MapInfo

La MapInfo Corporation è stata fondata negli USA, a NewYork, nel 1986 ed indirizzata principalmente al desktop mapping. Il programma gis principale è MapInfo Professional, giunto alla versione 6.0. Nel 1994 la società ha stipulato un accordo con la Microsoft Corporation che ha portato all'inserimento di alcune funzioni di MapInfo Professional all'interno del programma Excel.



Visualizzazione di una cartina geografica in un foglio di calcolo excel attraverso il comando inserisci cartina che consente di attivare MsMap comprendente alcune funzioni proprie di MapInfo Professional.

Un punto di partenza per la costruzione di un GIS è costituito da programmi *software* preconfezionati ai quali possono essere apportate modifiche atte a potenziarne e ad arricchirne le capacità operative in relazione alla specificità della realtà in esame. Un valido strumento può essere il *software MapInfo (attualmente è disponibile sul mercato la versione 6.0)*.

Come indicato dalla stessa casa produttrice (*MapInfo Corporation*), si tratta di un *software* di tipo *desktop mapping*, ovvero tale da consentire l'organizzazione e gestione di dati attraverso l'impiego di cartografie digitali. Esso quindi può assolvere ad alcune funzioni GIS. In particolare con il *software MapInfo* è possibile:

- aprire direttamente i file creati con *dBase* o *FoxBase*, *ASCII* delimitato, *Lotus 1,2,3* e *Microsoft Excel* e creare database all'interno del programma;
- importare file grafici di vari formati;
- utilizzare file *raster* per completare il dettaglio di rappresentazione e incrementare il livello di informazione contenuto nei file vettoriali;
- visualizzare i dati in tre formati (Finestra Mappa, Finestra Dati, Finestra Grafico);
- accedere a database remoti come *Oracle*, *Sybase* e *Access*;
- sovrapporre layer (ciascuno archiviato come file);
- creare mappe tematiche come risultato delle analisi compiute;
- effettuare ricerche sul database attraverso la semplice selezione dei dati (dalle tabelle o dalla mappa) oppure mediante ***linguaggio SQL***;
- cambiare la proiezione cartografica di una mappa;
- salvare i dati in speciali aree di lavoro.

Tra i pregi di tale *software* vanno menzionate sia le capacità di operare trasformazioni di coordinate relativamente a molteplici tipi di rappresentazione sia l'estrema semplicità del sistema di gestione del database (di tipo relazionale) con conseguenziale rapidità nei tempi di ricerca; tra i limiti, invece, si sottolineano l'eccessiva semplificazione delle opzioni CAD, la limitazione delle possibilità operative per il trattamento e, soprattutto, la calibrazione dei raster, l'impossibilità di costruire e gestire modelli 3D.

10.2. Caratteristiche del software ArcView

ArcView GIS è uno strumento software di tipo GIS che consente di accedere alle informazioni geografiche e di organizzare i propri dati secondo il principio della georeferenziazione. Ciascun utente ha così la possibilità di visualizzare, esplorare, interrogare e analizzare i dati spazialmente.

Una caratteristica chiave di ArcView GIS è la semplicità con cui consente di collegare dati tabellari alla geografia, per visualizzare, interrogare e organizzare spazialmente i dati già esistenti. L'interfaccia è intuitiva e una finestra può contenere tutti i tipi di documento collegati con il progetto a cui si sta lavorando: la vista geografica, la tabella dei dati collegati alla mappa, i tradizionali grafici lineari, a barre, a torta, le immagini, e il layout, che consente di comporre interattivamente una pagina di risultati posizionandovi gli elementi che si intende stampare. Ciascuna di queste finestre ha la sua interfaccia, disegnata per consentire un accesso semplice agli strumenti necessari per maneggiare quel particolare tipo di documento. Una caratteristica del software è la legenda interattiva della vista geografica, che presenta tutti i temi disponibili e fornisce un controllo della loro visibilità, dell'ordine con cui sono visualizzati e di quale può essere oggetto di ulteriori azioni, come una selezione spaziale.

In ArcView GIS è disponibile un linguaggio di programmazione "Object-oriented" chiamato AVENUE che consente di sviluppare specifiche applicazioni, personalizzazioni, integrazioni ed interfacce grafiche amichevoli. AVENUE dispone di un Visual Editor, per la creazione di interfacce personalizzate, che consente l'inserimento o cancellazione di nuovi menu, bottoni o "tool" ad icone per le varie tipologie di documenti. Esiste inoltre la possibilità di creare maschere (form) personalizzate per l'interazione con l'utente tramite il Dialog Designer Extension, parte del pacchetto di base di ArcView GIS.

ArcView GIS è un sistema modulare basato sul concetto delle "Estensioni", mediante le quali è possibile aggiungere funzionalità al software e distribuire applicazioni utente; tra le più importanti estensioni che fanno parte del prodotto di base si ricordano:

CAD Reader per la lettura dei dati in formato CAD (DXF, DWG, DGN);

CIB Image Support;

Database Access;

Digitizer Extension per l'interfaccia con il digitizer;

Dialog Designer per la creazione di "form" personalizzate;

Geoprocessing per analisi spaziale avanzata;
VPF Viewer per la lettura del formato di scambio Vector Product Format;
Legend Tool;
Projection Utility Wizard;
TIFF 6.0 Image Support.

ArcView GIS gestisce in maniera integrata direttamente all'interno dell'ambiente interattivo di default, i seguenti tipi di documenti: viste sui dati territoriali, tabelle di dati alfanumerici, grafici, layout di stampa, script per la personalizzazione del sistema. In particolare ArcView GIS, tramite i documenti descritti, consente all'utente di svolgere le funzioni di seguito indicate:

Gestione dei principali formati vettoriali quali shapefile, DXF, DWG, DGN, MIF, Arc/Info coverage, SDE layers, etc.;

Gestione dei principali formati raster quali TIFF, BMP, RLC, Erdas GIS, LAN e Imagine, Jpeg, etc.;

Accesso ai dati alfanumerici residenti in DBMS esterni quali Oracle, Informix, Sybase, DB2, Access, SQLServer, etc.;

Gestione di dati alfanumerici associati ad elementi territoriali, con possibilità di effettuare "join" e "link" tra le tabelle associate ai dati geografici e tabelle residenti in DBMS esterni;

Gestione di librerie di simboli puntuali, lineari, poligonali e di testo con possibilità di importazione, esportazione, creazione, modifica, aggiornamento dei simboli;

Supporto dei "True Type Fonts";

Gestione di simbologie scalabili, legate alle scale di visualizzazione;

Possibilità di interrogazione grafica degli elementi e visualizzazione, all'interno di finestre dedicate, di tutti gli attributi alfanumerici associati;

Impiego di avanzati criteri di selezione spaziale tramite l'utilizzo di operatori topologici (contenuto, contenuto parziale, intersezione,...) per le ricerche all'interno di un tematismo o "tema su tema";

Consultazione dei dati alfanumerici con criteri di ricerca tipo SQL, con l'utilizzo di operatori logici e booleani;

Consultazione dei dati alfanumerici attraverso i dati geografici e viceversa;

Interfaccia verso digitizer e tavolette digitalizzatrici;

Editing di dati alfanumerici;

Link ipertestuali e ipermediali tra elementi grafici ed azioni che consentano di associare ad ogni oggetto, una o più immagini raster (tiff, bmp, pcx, etc.), altri dati grafici, files di testo, comandi di sistema (es. l'esecuzione di programmi esterni);

Overlay mapping (unione, intersezione, estrazione) di elementi territoriali;
 Generazione di Buffer (creazione di aree di rispetto) intorno ad elementi grafici;
 Cambiamento di sistemi di riferimento geografici (projection);
 Geocoding e ricerca per indirizzi;
 Creazione di layout di stampa e file di plottaggio con modalità "DeskTop Publishing",
 con inserimento di mappe tematiche, legende, scala, freccia del nord, tabelle, grafici e
 stampa in diversi formati (PostScript, CGM, HPGL, etc.) e su diverse periferiche.

Bibliografia

- Aa.Vv. (1996) - *Descartes – User's guide* - Bentley Inc., USA
 Aa.Vv. (1995) – *MapInfo 6.0 – User's guide* – MapInfo Inc., Troy, New York
 Aa.Vv. (1997) – *MGE – User's guide* – Intergraph Inc., Huntsville, Alabama
 Aa.Vv. (1996) – *Microstation95 – User's guide* - Bentley Inc., USA
 Aa.Vv. (1996) – *Microstation Geographic – User's guide* - Bentley Inc., USA
 Burrough, P.A. (1986) - *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment* - Claredon Press, Oxford
 Burrough, P.A., McDonnel, R. A. (2001) - *Principles of Geographical Information Systems* – Oxford University Press
 Cambursano, C. (1997) - *Cartografia numerica* - Società Editrice Esculapio, Bologna
 Favretto, A. (2000) – Nuovi strumenti per l'analisi geografica i GIS, Patron Editore, Bologna
 Foietta, P., Mandrile, L. (1991) - *Cartografia con il personal computer* - CLUP Città Studi, Milano
 Jones, C. (1997) - *Geographical Information System and Computer Cartography* – Longman Press, London
 Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (1991) - *Geographic Information Systems: principles and applications* – Longman Press, London.
 Peverieri, G. (1995) – *GIS - Strumenti per la gestione del territorio* – Il Rostro, Milano

Alcuni indirizzi internet inerenti i GIS

Tutorial

<http://info.er.usgs.gov/research/gis/title.html>

http://www.lib.calpoly.edu/research/all_databases/gis/gis3.html

<http://boris.qub.ac.uk/shane/arc/ARChome.html>

<http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/wwwtutor/tuthome.htm>

<http://ice.ucdavis.edu/local/gis/arctutin.html>

<http://ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/gis/sect61.html>

Software per la costruzione di GIS

ER Mapper (desktop integrated image processing software)

<http://www.ermapper.com/>

MapInfo Professional (mapping software package)

<http://www.mapinfo.com/>

MGE, GeoMedia

<http://www.intergraph.com/>

ArcView, ArcInfo

<http://www.esri.com/>

Idrisi

<http://www.clarklabs.org/>

Autodesk Word

<http://www.autodesk.com/>

Dizionari dei termini più frequenti nel settore delle applicazioni GIS

<http://www.geo.ed.ac.uk/agidict/welcome.html>

<http://www.lib.berkeley.edu/EART/abbrev.html>

<http://nhresnet.sr.unh.edu/granitNet/granit/glossary.html>