

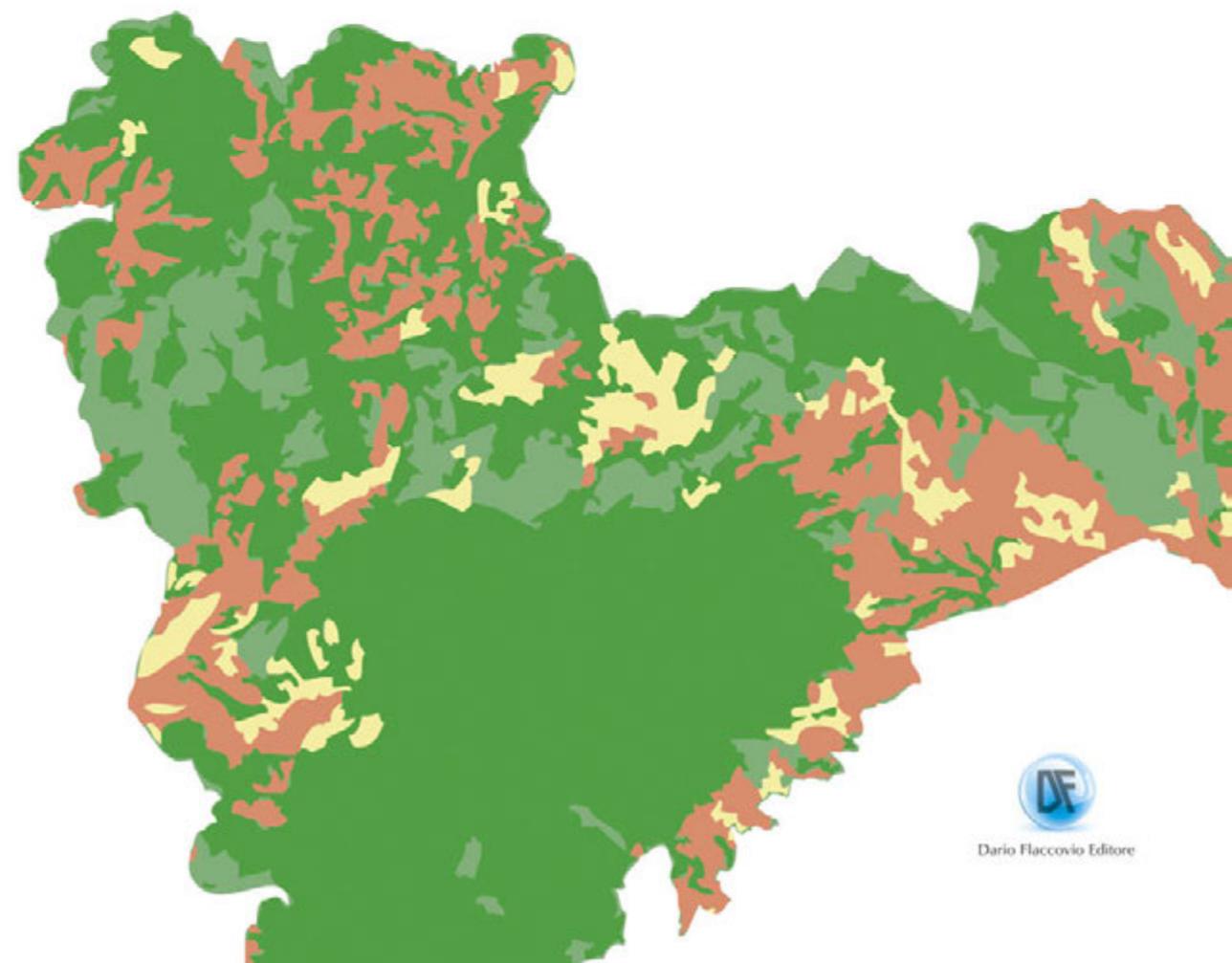


Barbara Guandalini ~ Giovanni Salerno

[Scheda sul sito >](#)

Manuale ArcGIS 10

Guida pratica con esercizi svolti



Dario Flaccovio Editore

Barbara Guandalini Giovanni Salerno

MANUALE ArcGIS 10

Guida pratica con esercizi svolti



Dario Flaccovio Editore

Barbara Guandalini – Giovanni Salerno
MANUALE ArcGIS 10 – Guida pratica con esercizi svolti

ISBN 978-88-579-0183-1

© 2013 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: aprile 2013

Guandalini, Barbara <1973->

Manuale ArcGIS10 : guida pratica con esercizi svolti / Barbara Guandalini, Giovanni Salerno. – Palermo : D. Flaccovio, 2013.
ISBN 978-88-579-0183-1

1. Cartografia – Impiego dell'elaboratore - Manuali.

I. Salerno, Giovanni.

526-.0285 CDD-22

SBN PAL0255569

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, aprile 2013

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Prefazione

PARTE PRIMA Sistemi informativi geografici e ArcGIS

1. Dalla cartografia tradizionale ai sistemi informativi geografici

1.1. L'idea di carta geografica.....	»	3
1.2. Le nuove tecnologie informatiche geografiche.....	»	6
1.3. Nuove idee di rappresentazione geografica	»	8
1.3.1. Caratteristiche e attributi	»	8
1.3.2. Accesso gerarchico.....	»	9
1.3.3. Ordini di scansione.....	»	11
1.3.4. Tempo.....	»	12
1.3.5. Analisi esplorativa dei dati spaziali.....	»	14
1.3.6. Incertezza.....	»	15
1.4. I GIS e l'intelligenza del territorio.....	»	16

2. Il modello di dati di un GIS

2.1. I tipi di dati.....	»	19
2.1.1. I dati vettoriali	»	19
2.1.1.1. La primitiva punto	»	20
2.1.1.2. La primitiva linea.....	»	20
2.1.1.3. La primitiva area.....	»	22
2.1.2. I dati raster.....	»	22
2.1.2.1. Le immagini fisiche	»	23
2.1.2.2. Le immagini classificate	»	24
2.1.2.3. Le immagini cartografiche.....	»	24
2.1.2.4. Le immagini fotografiche	»	25
2.1.3. I dati alfanumerici	»	25
2.1.4. Le modellazioni tridimensionali.....	»	26
2.2. I formati dei dati	»	27
2.2.1. Il formato shapefile.....	»	27
2.2.2. Il formato grid	»	28

2.2.3.	Il formato TIN	»	31
2.2.4.	Il geodatabase	»	33
2.2.4.1.	I vantaggi di usare un geodatabase	»	35
2.2.4.2.	I tipi di geodatabase	»	37
2.2.4.3.	Le funzionalità scalabili.....	»	38
2.2.4.4.	La struttura di un Geodatabase	»	39
2.2.4.5.	Altri elementi di un geodatabase	»	41
2.3.	Alla base della georeferenziazione	»	45
2.3.1.	I sistemi di riferimento	»	45
2.3.2.	I sistemi cartografici utilizzati in Italia.....	»	47
2.3.3.	Associare un sistemi di riferimento a dei dati geografici	»	50
2.4.	I metadati	»	51
3. I prodotti ESRI			
3.1.	ArcGIS Desktop.....	»	55
3.2.	I prodotti Mobile.....	»	56
3.2.1.	ArcGIS for Windows Mobile	»	61
3.2.2.	ArcPad	»	62
3.2.3.	ArcGIS per Smartphones.....	»	63
3.3.	ArcGIS for Server.....	»	63
3.4.	ArcGIS Online	»	65
3.5.	Il programma Community Maps di ESRI.....	»	67
4. Dentro ArcGIS Desktop			
4.1.	La struttura del software	»	75
4.2.	Arc Map.....	»	76
4.2.1.	Menu FILE.....	»	81
4.2.2.	Menu EDIT	»	82
4.2.3.	Menu VIEW	»	83
4.2.4.	Menu BOOKMARKS	»	84
4.2.5.	Menu INSERT	»	85
4.2.6.	Menu SELECTION	»	86
4.2.7.	Menu GEOPROCESSING	»	86
4.2.8.	Menu CUSTOMIZE.....	»	87
4.2.9.	Menu WINDOWS.....	»	88
4.2.10.	La finestra CATALOG	»	90
4.2.11.	La finestra SEARCH.....	»	90
4.3.	ArcScene.....	»	91
4.4.	ArcGlobe.....	»	94
4.5.	ArcCatalog.....	»	97
4.5.1.	La modalità CONTENTS	»	98
4.5.2.	La modalità PREVIEW	»	99
4.5.3.	La modalità DESCRIPTION.....	»	100
4.6.	Toolbox	»	101
4.7.	Le principali estensioni di ArcGIS	»	102

PARTE SECONDA

Rappresentare informazioni geografiche in ArcGIS

1. Creare una mappa

1.1. Iniziare a conoscere il software	» 109
1.2. I data frame	» 110
1.3. I layers	» 115
1.4. Caricare e gestire i dati	» 118
1.5. La toolbar tools	» 119
1.6. Gestire dati raster	» 121
1.7. Georeferenziare dati geografici.....	» 123
1.7.1. Georeferenziare immagini raster	» 123
1.7.2. Georeferenziare dati vettoriali.....	» 125
1.8. Esercizio: caricare dati e creare una mappa.....	» 127

2. Tematizzare un layer

2.1. Rappresentare informazioni digitali	» 131
2.2. Scegliere la modalità di rappresentazione	» 131
2.2.1. La modalità FEATURES	» 132
2.2.2. La modalità CATEGORIES.....	» 132
2.2.3. La modalità QUANTITIES	» 134
2.2.4. La modalità CHARTS.....	» 137
2.2.5. La modalità MULTIPLE ATTRIBUTES	» 138
2.3. Scegliere i simboli	» 140
2.4. Salvare e caricare una legenda.....	» 141
2.5. Esercizio: tematizzare un layer.....	» 142

3. Inserire oggetti grafici in una mappa

3.1. Cosa sono gli oggetti grafici	» 147
3.2. Inserire testi e oggetti grafici	» 147
3.2.1. Inserire e gestire oggetti grafici.....	» 149
3.2.2. Inserire e gestire un testo grafico.....	» 150
3.3. Etichettare gli oggetti in un layer.....	» 152
3.4. Dalle etichette alle annotation	» 157
3.5. Esercizio: etichettare gli oggetti geografici	» 158

4. Comunicare l'informazione attraverso grafici e report

4.1. I grafici.....	» 165
4.1.1. Creare un grafico	» 165
4.1.2. Gestire un grafico	» 168
4.2. I report	» 170
4.2.1. Creare un report.....	» 171
4.3. Esercizio: creare grafici	» 176

5. I layout di stampa

5.1. La finestra LAYOUT VIEW.....	» 179
-----------------------------------	-------

5.2.	Creare un nuovo layout.....	»	182
5.2.1.	Inserire e gestire la legenda.....	»	182
5.2.2.	Inserire e gestire la freccia di orientamento.....	»	188
5.2.3.	Inserire e gestire la barra e l'indicatore testuale di scala.....	»	190
5.2.4.	Inserire e gestire oggetti grafici.....	»	194
5.3.	Utilizzare i template.....	»	195
5.4.	Esercizio: creare un nuovo layout.....	»	196

PARTE TERZA

Creare, elaborare ed analizzare i dati

1. Creare e modificare i dati

1.1.	Creare nuovi layers.....	»	207
1.1.1.	Creare un nuovo shapefile.....	»	209
1.1.2.	Creare un nuovo geodatabase.....	»	212
1.2.	La toolbar EDITOR.....	»	214
1.2.1.	La finestra CREATE FEATURES.....	»	217
1.2.2.	La finestra ATTRIBUTES.....	»	219
1.2.3.	La finestra EDIT SKETCH PROPERTIES.....	»	219
1.3.	Creare e modificare oggetti in un layer.....	»	220
1.4.	Esercizio: creare un geodatabase.....	»	225

2. Topologia

2.1.	Il concetto di topologia.....	»	229
2.2.	Le regole topologiche.....	»	230
2.3.	Creare la topologia.....	»	233
2.4.	Validare la topologia.....	»	237
2.5.	Correggere gli errori topologici.....	»	238
2.6.	Esercizio: creare la topologia e correggere gli errori topologici.....	»	244

3. Gestire le informazioni alfanumeriche

3.1.	La componente alfanumerica delle informazioni geografiche.....	»	249
3.2.	Generare tabelle riassuntive.....	»	250
3.3.	Modificare la struttura di una tabella.....	»	252
3.4.	Lo strumento FIELD CALCULATOR.....	»	255
3.5.	I collegamenti tra tabelle.....	»	256
3.5.1.	Il JOIN.....	»	257
3.5.2.	Il RELATE.....	»	261
3.6.	Esercizio: gestire le informazioni alfanumeriche.....	»	262

4. Interrogazioni e selezioni

4.1.	Le interrogazioni.....	»	267
4.2.	Il concetto di selezione.....	»	268
4.3.	Il menu SELECTION.....	»	269

4.4. Le selezioni sui valori degli attributi	» 273
4.5. Le selezioni spaziali.....	» 275
4.6. Le selezioni tramite vista.....	» 277
4.7. Le selezioni da tabella	» 278
4.7.1. Utilizzare gli HIGHLIGHTED.....	» 279
5. Geoprocessing con ArcGIS	
5.1. Che cos'è il geoprocessing	» 281
5.2. Come utilizzare gli strumenti di geoprocessing.....	» 283
5.2.1. Lo strumento giusto per ogni necessità	» 284
5.2.2. Unire diversi processi.....	» 285
5.2.3. Cosa accomuna i diversi metodi di geoprocessing.....	» 285
5.3. Gli strumenti per il geoprocessing.....	» 286
5.3.1. BUFFER.....	» 287
5.3.2. CLIP	» 290
5.3.3. INTERSECT	» 290
5.3.4. UNION	» 291
5.3.5. MERGE	» 292
5.3.6. DISSOLVE.....	» 292
5.4. Strumenti avanzati di geoprocessing: il MODEL BUILDER.....	» 293
5.5. Esercizio: utilizzare gli strumenti di geoprocessing	» 296
5.6. Esercizio: utilizzare modelli preesistenti.....	» 301
5.7. Esercizio: costruire un nuovo modello	» 312
6. L'estensione Spatial Analyst	
6.1. Che cos'è l'estensione Spatial Analyst.....	» 325
6.2. Selezionare le caratteristiche dell'ambiente di analisi.....	» 326
6.2.1. Selezionare le directory di lavoro	» 327
6.2.2. Selezionare l'estensione dell'area di lavoro	» 327
6.2.3. Selezionare una specifica risoluzione per gli output	» 327
6.3. Le analisi di densità	» 328
6.4. Le analisi di distanza	» 329
6.4.1. Analisi di distanze lineari.....	» 329
6.4.2. Analisi di distanze pesate	» 331
6.5. Le interpolazioni	» 332
6.5.1. INVERSE DISTANCE WEIGHTED (IDW).....	» 333
6.5.2. SPLINE.....	» 334
6.6. Le operazioni di map algebra	» 336
6.7. Le analisi di superfici.....	» 337
6.7.1. ASPECT.....	» 338
6.7.2. CONTOUR.....	» 338
6.7.3. HILLSHADE	» 338
6.7.4. SLOPE.....	» 339
6.7.5. VIEWSHED.....	» 340

PARTE QUARTA

Elementi di map design

1. Progettare una mappa per un determinato scopo	
1.1. I primi passi nella progettazione di una mappa	» 346
1.2. La progettazione include l'ascolto	» 347
1.3. Progettare per risoluzioni e supporti differenti	» 349
1.4. Progettare in base alle caratteristiche del supporto finale.....	» 353
1.5. Esercizio: lavorare con la gerarchia visiva	» 355
2. Collegare un layout agli obiettivi della mappa	
2.1. Costruire il layout di una mappa utilizzando una gerarchia visiva.....	» 365
2.2. Progettare l'utilizzo di elementi decorativi.....	» 370
2.3. Scegliere le proiezioni cartografiche	» 374
2.4. Esercizio: definire la gerarchia visiva	» 376
2.5. Esercizio: lavorare con elementi di design decorativi	» 385
3. Pianificare un layout	
3.1. Bilanciare gli spazi vuoti	» 397
3.2. Modificare un layout.....	» 405
3.3. Beneficiare della sperimentazione e della critica.....	» 410
3.4. Esportare e condividere le mappe.....	» 411
3.4.1. Formati di esportazione raster	» 412
3.4.2. Formati di esportazione vettoriale.....	» 413
3.4.3. Distribuire mappe sul Web	» 414
3.5. Esercizio: creare un layout equilibrato	» 415

PARTE QUINTA

Laboratorio pratico

1. Valutare le scelte insediative in funzione della qualità agronomica dei suoli	
1.1. Metodologia di riferimento.....	» 423
1.2. Banche dati utilizzate.....	» 424
1.3. Svolgimento.....	» 426
2. Valutare la stabilità potenziale dei versanti	
2.1. Metodologia di riferimento.....	» 455
2.1.1. La litologia	» 456
2.1.2. La pendenza dei versanti	» 456
2.1.3. I fenomeni di dissesto.....	» 457
2.1.4. Realizzare la carta della pericolosità.....	» 457
2.2. Le banche dati utilizzate	» 458
2.3. Svolgimento	» 458

3. Valutare le interferenze nell'integrità degli ecosistemi provocata dalle attività antropiche

3.1. Metodologia di riferimento.....	» 479
3.1.1. L'Indice di Frammentazione da Urbanizzazione (IFU).....	» 480
3.1.2. L'Indice di Frammentazione Infrastrutturale (IFI)	» 481
3.2. Le banche dati utilizzate	» 481
3.3. Svolgimento.....	» 482

4. Valutare le aree potenzialmente inondabili a seguito di inondazioni costiere

4.1. Metodologia di riferimento.....	» 495
4.1.1. Progettazione del modello.....	» 495
4.2. Banche dati utilizzate.....	» 496
4.3. Svolgimento.....	» 497

Glossario	» 507
-----------------	-------

Bibliografia	» 517
--------------------	-------

Prefazione

Negli ultimi anni si è notevolmente incrementato il numero di utenti di applicazioni GIS; nelle pubbliche amministrazioni, nelle società private, tra i professionisti, nel mondo della ricerca e dell'università, queste tecnologie registrano un continuo aumento di diffusione.

Tra le numerose tecnologie disponibili sul mercato, il software ArcGIS della ESRI costituisce un GIS completo, che permette di gestire dati territoriali 2D e 3D, di elaborare accattivanti mappe per comunicare informazioni, analizzare e comprendere fenomeni spaziali complessi e persino costruire sequenze video con esplorazioni dei dati geografici.

Tutto questo, combinato con un ambiente scalabile, che consente di implementare il GIS per un singolo utente o per molti utenti sia su desktop sia su server o su Web oppure sul campo, spiega la straordinaria diffusione di ArcGIS.

Il pacchetto ArcGIS comprende diverse applicazioni: il programma principale è ArcMap, che consente la visualizzazione e la creazione dei dati geografici, ma sono compresi anche ArcCatalog, ArcToolbox e numerose estensioni.

Il presente volume è costituito da concetti generali sulle tecniche e sugli strumenti per il trattamento di dati geografici e da accurate descrizioni delle tecnologie ESRI, il tutto accompagnato da una serie di esempi pratici, sviluppati con gradualità, per dare al lettore la possibilità di apprendere poco per volta le principali funzionalità di ArcGIS.

Il libro, suddiviso in cinque parti, consente di avvicinarsi all'argomento da più prospettive, a seconda dell'approccio che si intende avere con gli strumenti GIS.

PARTE I — SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI E ARC GIS

Nella prima parte si affrontano alcuni aspetti generali fondamentali per potersi cimentare nell'utilizzo delle tecnologie GIS. Innanzitutto viene descritto brevemente che cos'è e a cosa serve un sistema informativo territoriale; segue poi una descrizione breve ma completa sui principali tipi e formati di dati utilizzabili in un GIS; vengono poi presentati i diversi prodotti ESRI rivolti a tipi di utenze diverse; infine si descrivono brevemente i prodotti che compongono il pacchetto ArcGIS e che saranno approfonditi nell'ambito del manuale.

PARTE II – RAPPRESENTAZIONE DI INFORMAZIONI GEOGRAFICHE IN ARCGIS

In questa parte vengono descritti gli strumenti per visualizzare dati geografici attraverso i quali produrre mappe utili per comunicare le informazioni analizzate. Le informazioni geografiche possono essere comunicate, oltre che con mappe, anche con grafici e report. Mappe, grafici e report possono essere composti all'interno di layout per la stampa in diversi formati.

PARTE III – CREAZIONE, ELABORAZIONE ED ANALISI DATI

Vengono descritte le principali funzioni per il trattamento e l'analisi di dati geografici di ArcGIS, nonché gli strumenti per creare e modificare dati geografici. ArcGIS dispone di numerosi strumenti per il processamento di dati geografici che possono essere utilizzati singolarmente o attraverso la definizione di flussi anche complessi di analisi.

Operazioni molto comuni sono quelle di creazione e modifica dati, che possono anche essere eseguite con l'ausilio di strumenti di controllo topologico.

L'ultimo capitolo di questa parte del manuale è dedicato all'estensione Spatial Analyst che consente di gestire e analizzare dati grid, utili per modellare quei fenomeni che variano in modo continuo nello spazio.

PARTE IV – ELEMENTI DI MAP DESIGN

La produzione di mappe professionali richiede alcune nozioni di progettazione, presentate brevemente e sinteticamente attraverso esercitazioni pratiche con l'utilizzo di ArcGIS. Si analizzano preliminarmente gli scopi della mappa e si pianifica un layout che riesca a conseguire gli obiettivi fissati.

PARTE V – ESERCITAZIONI

Questa parte è costituita da una serie di esercitazioni complesse, che simulano dei flussi di lavoro completi per applicare molti degli strumenti presentati nel volume.

La prima esercitazione è un'applicazione propriamente agronomica: viene richiesto di definire la capacità d'uso dei suoli, sulla base delle altre caratteristiche pedologiche.

Viene poi presentata un'esercitazione su temi geologici: utilizzando tecniche di map algebra, è richiesto di valutare la stabilità potenziale dei versanti in base a fattori morfologici, litologici e geomorfologici.

Il terzo esercizio è a carattere urbanistico: vengono presentate alcune tecniche per valutare gli impatti sui sistemi naturali dovuti all'urbanizzazione e alla presenza di infrastrutture.

L'ultima esercitazione proposta riguarda l'individuazione delle aree potenzialmente inondabili a seguito di eventi di mareggiata nel comune di San Mauro Pascoli; viene utilizzato un modello recentemente sviluppato dal Servizio Geolo-

gico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, che deriva queste aree da un set ristretto di dati geografici attraverso complesse procedure di processamento GIS.

Per poter eseguire gli esercizi è necessario copiare la directory *Dati* contenuta nel CD allegato al libro sul disco fisso nella directory *c:*, o in un'altra directory scelta dall'utente (nel corso degli esercizi verrà sempre fatto riferimento alla posizione *c:\\Dati*).

PARTE PRIMA
Sistemi informativi geografici e ArcGIS

1. Dalla cartografia tradizionale ai sistemi informativi geografici

1.1. L'idea di carta geografica

Parlando con un geografo di qualsiasi argomento – della primavera araba, del degrado dell'ambiente, della congestione urbanistica, del consumo di suolo, della disoccupazione – lui farà di tutto per trovarsi davanti a una carta. I geografi non vogliono soltanto sapere dove accadono le cose e com'è organizzato lo spazio in cui accadono, ma anche perché avvengono proprio lì. La risposta spesso sta in una mappa.

Un'impostazione mentale di stampo geografico, ponendo domande differenti (che qualcuno ha indicato come “il perché del dove”), porta infatti a considerare differenti spiegazioni. C'è qualcosa nella forma mentis geografica che vuole contemplare il quadro generale, non si accontenta di frammenti sparsi e desidera vedere come questi pezzi si incastrino tra loro. La carta può dare un quadro sintetico di tutto ciò. Mostrandone una a qualsiasi geografo questi s'immergerà immediatamente in relazioni e collegamenti (tra uomo e ambiente, tra luoghi, tra uomini e luoghi).

Tra tutte le idee sviluppate dai geografi negli ultimi millenni, la carta geografica è diventata centrale per la civiltà occidentale. In passato strumento privilegiato di re e prelati, oggi è d'uso quotidiano per chi legge una rivista, controlla le previsioni del tempo, fa la spesa in un centro commerciale, visita un museo e passa la sua giornata in un labirintico palazzo d'uffici.

Fino a non molto tempo fa le carte erano di esclusiva pertinenza dei geografi; oggi vengono realizzate da giornalisti, ricercatori scientifici, grafici, oltre che da chiunque possieda un programma GIS. Gli astronauti tentano di mappare l'universo, i genetisti fanno lo stesso con i geni.

Le carte sono un'immagine popolare di grande diffusione nel rappresentare il potere e il controllo, ma catturano anche il senso di “gioia di essere qui” nella pubblicità, su zerbini e cartoline.

Negli ultimi duecento anni le mappe sono state al tempo stesso degradate e promosse al quotidiano. E proprio per questo rappresentano uno dei maggiori successi conseguiti dalla geografia.

Le prime rappresentazioni simboliche del mondo utilizzavano una grande varietà di materiali, dai graffiti rupestri ai modelli in legno utilizzati per la navigazione del Pacifico. Ma la diffusione della carta e della stampa creò un medium che finì per dominare la cartografia, almeno fino allo sviluppo della fotografia aerea e della grafica digitale del XX secolo.

Bastano degli strumenti semplici per creare delle rappresentazioni cartacee di un'ampia gamma di fenomeni e di caratteristiche geografiche, capaci quindi di comunicare il sapere al lettore di una carta. Utilizzando i caratteri mobili o i retini è possibile stampare un testo, tracciare delle linee di spessore costante e riempire delle aree con un colore omogeneo. Altre tecniche consentono di riempire delle aree con schemi prestampati uniformi, come i punti e le crocette. Nonostante la loro apparente flessibilità, queste tecniche sono in realtà abbastanza limitanti. È difficile, per esempio, differenziare continuamente lo spessore di una linea per rappresentare le variazioni nella larghezza di una strada o di un fiume o indicare i diversi gradi di certezza connessi con la posizione di un confine fisico o politico. È difficile riempire un'area con un colore o uno schema in continuo cambiamento per rappresentare dei gradienti delle densità di una specie o delle precipitazioni al riparo di una catena montuosa. Anche per chi legge una mappa risulta difficile interpretare correttamente delle variazioni continue. Ne consegue che le rappresentazioni cartografiche tendono a enfatizzare gli aspetti bruschi ed evidenti della variazione geografica e a sopprimerne il cambiamento graduale e la casualità.

Questo senso di limitatezza tecnica è particolarmente evidente nelle convenzioni per rappresentare l'altitudine. La tecnica familiare delle linee o dei contorni isometrici ha costituito lo standard per diversi decenni, ma i suoi limiti risultano evidenti dalla necessità di insegnare la lettura di una mappa e dall'utilizzo di tecniche supplementari come il colore e l'ombreggiatura per aiutare il lettore della carta a interpretare correttamente lo schema dei contorni. Le linee isometriche sono state impiegate nella cartografia non solo grazie alla loro efficienza nel comunicare delle informazioni sulla quota, ma anche perché erano uno dei pochi metodi rappresentativi consentiti dalle limitazioni della tecnica cartografica, in quanto le si poteva tracciare con una penna. Non danno alcuna informazione sulla conformazione della superficie compresa tra le alture disegnate o sull'incertezza del cartografo circa la misurazione e sul conseguente impatto sulla posizione dei contorni.

Se l'obiettivo di una carta è comunicare il sapere del cartografo al lettore, si possono avanzare dei dubbi ragionevoli sull'efficienza di questo tipo di comunicazione. Nel caso dei contorni, le informazioni a disposizione di un tecnico che segua il metodo di mappatura topografica convenzionale comprendono le misurazioni dirette in punti selezionati (punti quotati), insieme alla possibilità di stimare in modo fotogrammetrico l'altitudine di un qualsiasi punto. Al lettore

della carta vengono offerte le stime di quote in punti situati sui contorni, insieme alla possibilità di stimare l'elevazione di altri punti con accuratezza decisamente inferiore. Per quanto si possa desumere dalla mappa, la quota potrebbe essere un valore qualsiasi tra quelli delle elevazioni dei contorni adiacenti, cosicché l'accuratezza delle stime dipende dall'intervallo dei contorni.

In breve, dato che solo una minima parte delle informazioni a disposizione del cartografo viene effettivamente comunicata, l'efficienza della comunicazione della carta può essere fastidiosamente scarsa. Si potrebbero avanzare obiezioni di questo tenore sull'efficienza delle carte dei suoli disegnate dai pedologi o su quella delle carte corografiche nel comunicare i dati sulla densità abitativa. In tutti questi casi le informazioni acquisite dal lettore sono solo una minima parte di quelle a disposizione del cartografo e, almeno in parte, questo è dovuto alle costrizioni imposte dai limiti tecnici della cartografia.

Il mondo è un luogo spaventosamente complesso e una carta che lo semplifichi e comunichi solo una minima parte della sua reale complessità può effettivamente essere in qualche modo rassicurante per il lettore.

Gli psicologi Mark e Frank hanno introdotto i principi delle scienze cognitive e della linguistica nel dibattito sulla natura dell'informazione geografica e della cartografia. Questi scienziati suggeriscono che la capacità di apprendere e ragionare, per quanto riguarda le informazioni geografiche, sia limitata dalle strutture insite nel linguaggio, che sono fortemente sbilanciate verso una visione del mondo in termini di oggetti discreti e netti e di cambiamenti bruschi. Tali schemi sarebbero l'espressione geografica di una generale propensione a utilizzare categorie discrete e ad applicare etichette. La lingua italiana, per esempio, è ricca di termini per descrivere i rapporti tra oggetti (termini come "dentro", "sopra", "attraverso", "fuori"), mentre la casualità, l'incertezza e il cambiamento continuo tendono a essere evitati nel discorso umano quotidiano e sono molto meno presenti nel vocabolario.

Tali argomentazioni suggeriscono che l'uso dei contorni per rappresentare le elevazioni o aree nettamente definite per rappresentare le variazioni del terreno riflettono sia la preferenza cognitiva umana sia le limitazioni della tecnica cartografica. In quest'ottica il filtro imposto dal canale di comunicazione non è considerato come un'involontaria perdita d'informazione, ma piuttosto come un livello desiderabile di generalizzazione, un modo per aumentare l'utilità delle informazioni cartografiche per il lettore della mappa. Una carta che mostrasse il mondo com'è veramente, in tutta la sua complessità, casualità e continua mutazione spaziale, sarebbe assai meno utile rispetto a un prodotto convenzionale, poiché i suoi contenuti non riuscirebbero ad adattarsi ai nostri processi cognitivi. È difficile imparare qualcosa dal mondo o descriverlo ad altri in termini di chiaroscuro e casualità, come abbiamo difficoltà a ragionare sulla base di queste informazioni.

Questa tensione tra un'immagine illuminata e scientifica della carta come canale imperfetto di comunicazione e un'analisi cognitiva basata su un esame delle limitazioni del ragionamento umano costituisce il cuore del dibattito sul ruolo delle nuove tecnologie. Da una parte le tecnologie informatiche infatti hanno il potenziale per eliminare le costrizioni della tecnica cartografica, aprendo la prospettiva di un nuovo mondo in cui la conoscenza scientifica dei pedologi sarà interamente disponibile a tutti attraverso nuove forme di rappresentazione, d'altra parte, le tecnologie informatiche pensate per riflettere le limitate capacità umane di ragionamento spaziale possono rendere le carte più facili da leggere e possono avvicinare la loro progettazione alle capacità intuitive umane. Chiaramente vi è spazio per entrambi i punti di vista, a seconda del contesto applicativo al quale si è interessati.

1.2. Le nuove tecnologie informatiche geografiche

La definizione *sistema di informazione geografica* (ovvero GIS) fu coniata negli anni Sessanta. In Canada, Roger Tomlinson era a capo di un progetto per costruire un sistema informatico che gestisse la massa di dati geografici creati dal Canada Land Inventory. Un inventario territoriale deve concentrarsi sulla misura dell'area sottesa, come l'estensione di territorio disponibile per la coltivazione di prodotti arabili; tali misurazioni sono difficili da ottenere tramite procedure convenzionali come il tracciamento delle aree utilizzando uno strumento meccanico detto *planimetro* o l'utilizzo di carta millimetrata, metodi che nel migliore dei casi si rivelano inadeguati. A peggiorare ulteriormente le cose è la pianificazione degli utilizzi territoriali che necessita di stime accurate delle aree con caratteristiche multiple, che avrebbero dovuto essere ottenute dalle varie mappe del Canada Land Inventory tramite la assai laboriosa preparazione di lucidi da sovrapporre. Nel pianificare l'utilizzo delle foreste, per esempio, è utile conoscere l'estensione dei territori adibiti a bosco, ma anche quelle dei territori ad uso ricreativo e agricolo. Un computer digitale offriva un'alternativa potenzialmente economica e molto più accurata. La definizione "sistema di informazione geografica" venne coniata per sottolineare l'attenzione della tecnica per la dimensione geografica dei dati e la sua capacità di memorizzare, recuperare e analizzare una grande varietà di informazioni tramite semplici manipolazioni.

A partire da questi primissimi passi, i GIS sono cresciuti fino a diventare una parte significativa degli studi di *data processing*.

Molte grandi innovazioni nella ricerca relativa ai GIS sono occorse durante lo sviluppo dei primi sistemi, in particolare del Canada Geographic Information System di Tomlinson e dei lavori prodotti dall'Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis nato a Cambridge negli anni Settanta. I prodotti commerciali che incorporavano queste innovazioni cominciarono ad apparire

verso la fine degli anni Settanta e per la fine degli anni Ottanta la ricerca GIS aveva dato vita a numerose conferenze, riviste, società e programmi universitari. Si tratta di un campo in continua espansione, con una costante crescita annuale nelle vendite di software che non sembra destinata a diminuire. I GIS sono stati descritti come “il telescopio, il microscopio, il computer e la fotocopiatrice dell’analisi e sintesi regionale” (Abler, 1988) e come “il più grande passo in avanti nella gestione delle informazioni geografiche dopo l’invenzione della carta” (Department of the Environment, 1987).

Un GIS moderno e professionale come ArcGIS Desktop ha funzioni che consentono la memorizzazione di rappresentazioni digitali di un’ampia gamma di caratteristiche geografiche e tipi di variazione geografica. Oltre alle rappresentazioni geografiche, un GIS può memorizzare una serie di attributi per ciascuna caratteristica (in altre parole: informazioni note su ciascuna caratteristica, utili a distinguerle le une dalle altre), nonché una serie di relazioni tra caratteristiche, quali la connettività, l’adiacenza o la prossimità. Esistono funzioni progettate per convertire i dati da una proiezione all’altra, per inserire i dati da una serie di sistemi e periferiche differenti e per visualizzare i dati in forma cartografica. Ma il vero punto forte del GIS sta nella sua capacità di analizzare i dati misurando aree, sovrapponendo più serie di dati o eseguendo delle analisi o modellazioni spaziali standard.

Un GIS è uno strumento per condurre analisi geografiche, proprio come un pacchetto statistico è uno strumento per condurre analisi statistiche: entrambi offrono dei mezzi per implementare un corpus di metodi analitici ben definiti.

Nella sua forma più semplice, un database GIS offre una rappresentazione digitale dei contenuti di una o più carte. Dato che le caratteristiche illustrate dalle carte sono inevitabilmente nette, con confini ben definiti, la creazione di rappresentazioni digitali è stata possibile utilizzando combinazioni di punti, linee e aree. I punti sono rappresentati da coppie di coordinate, le linee da sequenze ordinate di punti collegati da rette e le aree da sequenze ordinate di punti che formano i vertici di poligoni. Per descrivere questo tipo di rappresentazione viene spesso usata l’espressione “grafica a poligoni”. In questo modo la struttura dei dati del GIS non solo conserva la definizione essenziale delle caratteristiche geografiche mappate, ma le astrae ulteriormente insistendo su segmenti di retta dove la realtà potrebbe mostrare curve morbide. Benché linee e poligoni siano un modo appropriato di rappresentare strade cittadine e apprezzamenti di terreno, nel caso di un fiume, per esempio, la rappresentazione convenzionale GIS della sua forma piana dimostra una scarsa comprensione degli effetti dei processi idrologici e in questo senso si potrebbe sostenere che le strutture di dati GIS sono rappresentazioni meno efficaci rispetto alle carte, poiché un cartografo può sempre disegnare una curva morbida. Allo stesso modo, nel caso delle mappe territoriali, i progettisti GIS hanno generalmente conservato le transizioni nette tra tipi convenzionali su

questo genere di carte, anziché cercare delle rappresentazioni che possano ritrarre transizioni spaziali graduali.

1.3. Nuove idee di rappresentazione geografica

Le tecnologie GIS hanno aperto nuove possibilità per la rappresentazione geografica. Le rappresentazioni a disposizione del cartografo tradizionale, che lavora con penna e inchiostro, sono limitate, per quanto si potrebbe osservare che gli effetti di tali limitazioni siano comunque coerenti con gli schemi della mente umana. In un ambiente digitale queste costrizioni non esistono e le rappresentazioni sono limitate solo dall'immaginazione dei loro creatori.

1.3.1. Caratteristiche e attributi

Le carte possono essere realizzate per mostrare la posizione di determinate caratteristiche e sono state definite molte tecniche per differenziare tali caratteristiche o visualizzarne gli attributi. Si possono sostituire i punti con simboli che rappresentano torri o idranti antincendio; è possibile colorare i simboli lineari o codificare le loro caratteristiche tramite schemi di punti e trattini per distinguere le strade dalle ferrovie; oppure si possono riempire le aree con ombreggiature o colori per indicare il tipo di territorio o il suo status politico. In ogni caso va evidenziato che vi sono severe limitazioni sul numero di attributi visualizzabili simultaneamente per un dato oggetto. Combinando campitura, ombreggiatura ed etichette sono rappresentabili fino a cinque attributi di determinati oggetti, ma si è ancora evidentemente molto lontani dal numero di attributi disponibili per certi tipo di aree. Per esempio, si potrebbero avere a disposizione centinaia di input per ogni zona di censimento, comprese le entrate medie per famiglia e l'incidenza per una data malattia, ma solo un numero limitato di questi dati possono essere rappresentati su una sola carta.

I GIS offrono un ambiente molto più ricco. Una tecnica comunemente utilizzata consiste nel consentire all'utente di indicare una caratteristica specifica come, per esempio, l'area di un censimento; il database viene scandagliato alla ricerca degli attributi di quella caratteristica (per esempio, le fasce d'età della popolazione sopra i sessantacinque anni di una data provincia o le informazioni sul proprietario di un apprezzamento di terreno) e i dati selezionati vengono visualizzati in una sezione diversa dello schermo. In questo modo si ha a disposizione una visualizzazione dinamica, diversamente da una carta stampata, che consente all'utente di modificare continuamente le informazioni visualizzate. Di conseguenza, si può avere a disposizione una gamma di informazioni assai più ampia di quanto sarebbe possibile con una rappresentazione tradizionale. Tramite questa tecnica

L'utente ha maggiore potere sulle informazioni e dipende meno dall'impostazione data dal cartografo. Ma se viene spinto troppo in là, questo nuovo accesso ai particolari geografici può superare un confine invisibile e diventare un'invasione della privacy: per esempio è possibile prendere delle raccolte di dati già disponibili al pubblico, come gli elenchi telefonici e le mappe stradali e creare semplici applicazioni GIS che forniscano i nomi e i numeri di telefono degli abitanti delle case che compaiono su una carta.

1.3.2. Accesso gerarchico

La visualizzazione di attributi su richiesta è un modo di superare le limitazioni spaziali delle carte bidimensionali. La realtà geografica ha un'interessante peculiarità: più da vicino si guarda la superficie della Terra, più numerosi sono i particolari che si vedono (alcuni insegnanti di geografia cercano addirittura di far capire quest'idea ai propri studenti chiedendo loro di mappare aree di 0,25 metri quadrati di prato del campus universitario).

A volte è possibile predire con una certa precisione questo disvelamento di dettagli, almeno nel caso di determinati oggetti geografici naturali come le linee costiere. Questa proprietà è tanto incoerente rispetto al tradizionale pensiero geografico da avere spinto Benoit Mandelbrot a proporre una teoria generale su quelli che battezzò *frattali*, cioè gli oggetti che mostrano questo tipo di comportamento. Naturalmente le rappresentazioni cartografiche non hanno questo tipo di proprietà; il livello di dettaglio che si può includere nella scala di una data carta è sempre limitato, perché è difficile rappresentare in una carta oggetti inferiori a circa 0,5 millimetri, per quanto grandi possano essere sulla superficie della Terra. A differenza della carta, un database spaziale non ha scala, non esistendo in ambito digitale distanze da confrontare a quelle presenti sulla superficie della Terra. Così molti display GIS fanno uso della metafora della lente di ingrandimento, offrendo all'utente che sta visualizzando una schermata in una determinata scala un'icona che consente di ingrandire o rimpicciolire selettivamente qualsiasi area della carta. Inoltre le caratteristiche già visibili possono essere visualizzate con maggiori dettagli e possono essere aggiunte nuove caratteristiche invisibili nella scala originale della schermata.

Naturalmente questo processo è limitato dal livello di dettaglio a disposizione nel database, ma fornisce in ogni caso un nuovo potente modo per osservare le variazioni geografiche.

I cartografi sono venuti incontro al bisogno di rappresentazioni del mondo in diverse scale pubblicando serie multiple di carte. Così, per una stessa regione si possono trovare carte in scala 1:25.000, 1:100.000, 1:250.000 o 1:1.000.000. Le definizioni utilizzate e la serie di caratteristiche visualizzate sono differenti in ciascuna serie e i processi cartografici sono decisamente indipendenti in ciascun

caso. Ne deriva che molti database GIS multiscala mantengono questa indipendenza non fornendo alcun collegamento logico tra rappresentazioni della stessa area in scale differenti. Per esempio, sebbene siano disponibili rappresentazioni digitali della rete ferroviaria in scala 1:100.000 e 1:1.000.000, i contenuti sono tanto diversi che a volte non sembra di osservare gli stessi oggetti.

I GIS attuali contengono un numero crescente di concetti di gerarchia, o relazioni esplicite tra rappresentazioni su diverse scale. Il *quadtree*, per esempio, offre un metodo senza precedenti nella cartografia tradizionale per rappresentare variazioni su scala multipla. La figura 1.1 mostra la costruzione di una semplice rappresentazione quadtree della variazione spaziale di una variabile come una tipologia territoriale. Se l'intera area da cartografare contiene più di una classe, viene suddivisa in quattro quadranti uguali. Ciascuno di essi viene poi esaminato per constatarne l'omogeneità rispetto alla tipologia territoriale; se non è omogeneo, viene suddiviso ulteriormente. Il processo continua finché la carta non è costituita da una serie di quadranti di dimensioni variabili, ciascuno dei quali è omogeneo rispetto alla tipologia territoriale oppure è delle dimensioni minime disponibili in considerazione della risoluzione spaziale dei dati. La figura 1.1 mostra la rappresentazione quadtree come mappa e come struttura ad albero.

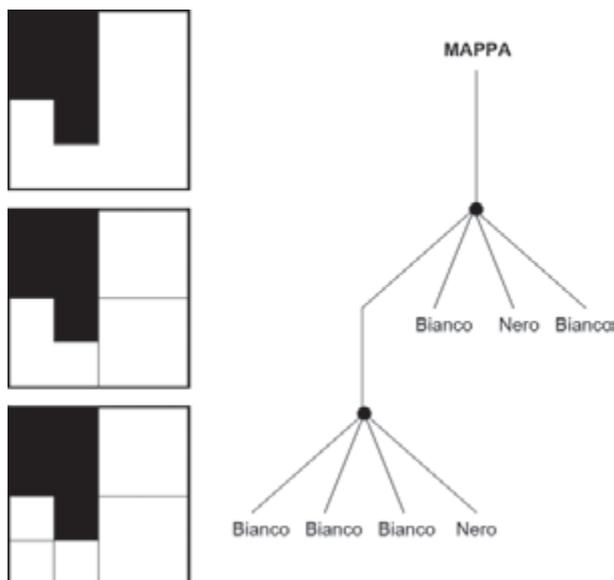


Figura 1.1. Un esempio di rappresentazione quadtree, come mappa e come struttura ad albero, applicata a due classi (bianco e nero): la mappa nell'insieme costituisce la cima dell'albero ed è divisa in quattro quadranti uguali; se alcuni quadranti includono più di una classe, essi sono divisi ancora in quattro e il processo continua fino a quando ogni suddivisione contiene una sola classe

Il quadtree è diffusamente utilizzato come rappresentazione economica che adatta le dimensioni delle proprie unità geografiche di base al livello di dettaglio locale nella variabile mappata. Il concetto di quadtree è stato applicato alla superficie curva della Terra e strutture ad albero simili sono state elaborate per oggetti lineari complessi e per l'indicizzazione di caratteristiche discontinue. Recentemente vi è stato un forte interesse per il concetto di "ordine", che può essere interpretato come una generalizzazione del quadtree in cui la variazione all'interno di ciascun quadrante è descritta da una semplice funzione a onda. In tutti questi casi un albero gerarchico viene utilizzato per creare una rappresentazione con informazioni a tutti i livelli di risoluzione spaziale, un concetto radicalmente differente rispetto alla risoluzione uniforme delle carte tradizionali o delle immagini della Terra.

Gli approcci gerarchici alla strutturazione dei dati geografici sono radicalmente differenti rispetto alle prospettive pittoriche offerte da carte e immagini in scala uniforme; offrono più possibilità di esplorare aree interessanti a un livello di dettaglio maggiore, o di fare un passo indietro e posizionare le aree nei loro contesti regionali. Le strutture gerarchiche danno accesso a quegli importanti dettagli locali che potrebbero non essere visibili a una data scala ed enfatizzano la natura delle carte generalizzate come approssimazioni alla realtà.

1.3.3. Ordini di scansione

Le immagini satellitari veicolano le informazioni attraverso assemblaggi di elementi pittorici, o pixel, e convenzionalmente queste immagini vengono ordinate per riga a partire dall'angolo superiore sinistro, per analogia con le convenzioni di molti linguaggi scritti. Questo approccio è echeggiato nelle strutture dei dati raster, che rappresentano le variazioni spaziali dividendo lo spazio in celle rettangolari o quadrate. Al contrario, un dato geografico vettoriale rappresenta la variazione descrivendo la forma e gli attributi geometrici di caratteristiche geografiche discontinue utilizzando punti, linee o aree.

Un esempio: sono tre gli approcci comunemente utilizzati per rappresentare in un GIS l'altitudine. Il *Digital Elevation Model* (DEM) utilizza una serie di quadrati (ovvero un raster) di punti di elevazione. Le rappresentazioni *Digital Line Graph* (DLG), spesso ottenute da carte a grande scala, catturano la topografia nel formato vettoriale di linee di contorno digitalizzate. Infine i *Triangulated Irregular Networks* (TIN), un'altra opzione vettoriale, coprono l'area mappata con una maglia di triangoli irregolari all'interno dei quali la superficie varia in modo lineare. Dato che i database vettoriali non prescrivono alcun ordine specifico per le caratteristiche che contengono, si può dire che scandiscono lo spazio in ordine casuale, al contrario della scansione sistematica dei database raster. Vi è forse un'analogia tra i database vettoriali e l'azione dell'occhio che osserva un'opera d'arte, poiché questo vede l'immagine in una sequenza sottilmente controllata dall'artista. Una

scansione sistematica linea per linea è invece analoga al modo in cui vengono trasmesse le immagini televisive o alle modalità di costruzione delle schermate di un computer.

All'inizio dello sviluppo del GIS si comprese che era possibile conseguire determinati obiettivi scandendo lo spazio in ordini che non avevano alcuna analogia con il testo scritto. Nel *Canada Geographic Information System* (CGIS) i dati derivati da ciascuna carta venivano memorizzati su nastro. Il tempo necessario per trovare i dati corrispondenti a un dato foglio di mappa poteva essere considerevole se fosse stato necessario riavvolgere lunghi tratti di nastro o attendere che venisse montato un nuovo nastro. I progettisti del sistema pensarono che si potessero anticipare determinati schemi di richiesta in molte applicazioni, in modo particolare tenendo presente il fatto che la carta necessaria successiva fosse generalmente adiacente a quella attualmente in uso. Questo principio sembrava poter essere valido per un'ampia gamma di processi, dalla gestione di base dei dati alla richiesta e visualizzazione di interrogazioni. Se ne dedusse che la sequenza ottimale di memorizzazione potesse essere caratterizzata dal fatto che le carte adiacenti nello spazio reale venissero memorizzate in uno spazio digitale anch'esso adiacente.

Naturalmente è impossibile trovare un ordine lineare di due spazi bidimensionali che conservi le adiacenze spaziali, perché un foglio di mappa può essere adiacente ad almeno due altre rappresentazioni in ordine lineare ma è per lo più adiacente ad altri quattro nello spazio reale (definendo l'adiacenza in termini di confini condivisi).

L'ordine inventato da Guy Morton (1966) venne ritenuto la migliore opzione disponibile e implementato nel CGIS: si tratta di un sistema intimamente correlato al quadtree e Mark (1990) lo ha confrontato sistematicamente ad altri ordini di scansione utilizzando una quantità di dati statistici.

L'occhio umano è un processore notevolmente efficace di informazioni bidimensionali, ma gli altri sensi e metodi di comunicazione non sono migliori di quelli lineari. Anche gli strumenti amministrativi, come schedari, liste e tavole, sono per lo più lineari. Lo sviluppo dell'ordine di scansione Morton è solo un esempio di come la ricerca GIS stia stimolando nuovi modi di pensare le relazioni tra approcci lineari e spaziali all'organizzazione delle informazioni, nonché dell'importanza di trovare metodi efficienti per la conversione tra i due sistemi.

1.3.4. Tempo

Una carta è statica: le rappresentazioni cartografiche favoriranno quindi gli aspetti della variazione geografica che sono altrettanto statici o che mutano lentamente nel corso del tempo. Da alcuni anni ci si pone il problema della "anzianità di servizio" di molte carte topografiche, molte delle quali non sono state aggiornate

per più di quindici anni. È evidente che alcuni loro aspetti si deteriorano più rapidamente di altri: nonostante la forma fisica della superficie possa restare più o meno costante, le caratteristiche culturali sono molto più effimere.

In tempi recenti, vi è stato un forte interesse per l'implementazione dell'elemento temporale nei database geografici. Le immagini satellitari sono istantanee scattate a intervalli regolari e frequenti e nei GIS sono stati elaborati metodi sofisticati per rilevare dei cambiamenti tra le immagini tenendo conto degli effetti stagionali e dell'angolazione del sole. Sembrerebbe che molte delle funzioni attualmente svolte dalle carte potrebbero essere demandate in modo altrettanto efficiente a fotografie aeree adeguatamente corrette e in anni recenti la U.S. Geological Survey ha sviluppato i metodi necessari per produrre quadrangoli digitali ortofotografici (*Digital Orthophoto Quadrangle*, DOQ), ovvero fotografie aeree corrette in base alla prospettiva verticale, con pixel di dimensioni estremamente ridotte.

Considerando che i DOQ possono essere prodotti con un costo molto inferiore rispetto a un quadrangolo topografico standard, gli aggiornamenti frequenti di aree in rapido mutamento geografico risultano economicamente vantaggiosi. In confronto alle mappe topografiche standard, i DOQ mancano solo dell'identificazione e dell'interpretazione delle caratteristiche. Con il crescente utilizzo di immagini satellitari e di DOQ, la visione dallo spazio – ortografica ma non interpretata – è diventata probabilmente la base di buona parte delle prospettive geografiche.

Langran (1992) tratta gli approcci alternativi alla rappresentazione del cambiamento temporale. Nel più semplice dei casi il tempo offre una serie di istantanee o strati di informazione nel database GIS, privi di relazioni logiche esplicite tra i contenuti di porzioni temporali adiacenti. Nel secondo caso, che viene gestito con la medesima facilità dagli attuali GIS, le caratteristiche persistono in località date nel corso del tempo, ma i loro attributi mutano in serie longitudinali; la maggior parte dei dati relativi ai censimenti segue questo modello: un censimento decennale costituisce un aggiornamento regolare dei contenuti di una serie di zone prefissate. Il terzo caso è contraddistinto da caratteristiche con un'identità persistente ma con posizioni e attributi che mutano nel corso del tempo; il cambiamento di posizione può essere descritto con parametri di movimento quali la velocità e la direzione o come l'indicazione della posizione dell'elemento in istanti precisi. Questo modello è stato utilizzato per rappresentare il comportamento spazio-temporale di individui o popolazioni animali in applicazioni zoologiche del GIS, ma non sono ancora stati perfettamente elaborati i concetti di funzione e modello dati necessari a supportarlo.

Nel caso più problematico, gli oggetti in esame hanno un'identità in determinati punti temporali, ma queste identità non persistono quando ciascuno di essi si muove, si dissolve, si agglomera e si divide. Per quanto sia possibile contare il numero di nuvole presenti in una singola immagine, non è evidentemente pos-

sibile modellizzare le nuvole come caratteristiche discontinue e ben definite nel corso del tempo. Quindi l'unico approccio disponibile per la gestione di questo tipo di dati è il ritorno al semplice modello a porzione temporale, il primo che è stato illustrato. Le famiglie mostrano caratteristiche analoghe, poiché nascono tramite il matrimonio e altri processi di formazione della famiglia, persistono nel tempo e poi si dissolvono con la morte, il divorzio o altre forme di frammentazione.

Sebbene nessuno di questi approcci sia in alcun modo originale come modello di informazione basata sul tempo, il trattamento del tempo in un GIS rappresenta una vera e propria scoperta concettuale, data la natura statica delle carte tradizionali e la prevalenza della metafora della carta nelle prime architetture GIS. Resta da vedere se lo sviluppo di metodi migliori per la rappresentazione del tempo in database spaziali porterà a un ripensamento dei metodi associati alla raccolta dei dati.

Con le nuove tecnologie di memorizzazione e manipolazione dei dati ha ancora senso effettuare un censimento ogni dieci anni o si passerà a uno schema più continuativo, magari basato su campioni di dimensioni inferiori?

1.3.5. Analisi esplorativa dei dati spaziali

Nei tardi anni Settanta i computer erano ormai uno strumento assai utilizzato nell'analisi statistica e consentivano a chi se ne occupava di evitare i noiosi calcoli che avevano caratterizzato le prime applicazioni di tecniche come l'analisi fattoriale. A mano a mano che questo strumento stimolava nuovi modi di pensare, vennero sviluppati nuovi metodi di analisi che ne sfruttavano le possibilità. Questo processo risultò evidente soprattutto nello sviluppo dell'analisi esplorativa dei dati (*Exploratory Data Analysis*, DA), un corpus di tecniche il cui pioniere fu, tra gli altri, Tukey (1977).

Laddove l'analisi statistica convenzionale metteva in primo piano la formulazione di ipotesi, seguite da prove formali, l'EDA offriva degli strumenti per l'esplorazione dei dati come parte del processo di generazione delle ipotesi, insieme a nuovi metodi per visualizzare dei campioni da prospettive interessanti. Oggi il paradigma EDA è diffusamente accettato insieme agli approcci correlati che mettono in gioco la capacità di calcolo dell'ambiente digitale.

L'avvento dei GIS ha prospettato opportunità simili anche nell'analisi dei dati spaziali. Dato che le carte sono noiose e costose da produrre, la maggior parte dell'analisi tradizionale tendeva a ignorare la componente spaziale, trattando le zone analizzate come se fossero state campioni indipendenti di una popolazione e adottando tecniche statistiche che ne postulavano l'indipendenza.

L'analisi esplorativa dei dati spaziali (*Exploratory Spatial Data Analysis*, ESDA) applica l'approccio dell'EDA all'analisi spaziale. Questi metodi esplorativi com-

prendono strumenti per visualizzare prospettive multiple sui dati sotto forma di carte, serie temporali, tavole e grafici; collegamenti visivi attivi tra prospettive, in modo che, puntando un dato su un plottaggio distribuito in modo casuale, venga simultaneamente evidenziato lo stesso elemento su una carta; collegamenti gerarchici tra dati, e all'interno di essi, che consentano un'analisi su scale multiple. Fotheringham e Rogerson (1994) forniscono una panoramica dei tentativi basati su GIS di trovare nuovi approcci all'analisi dei dati spaziali.

Per decenni i geografi hanno discusso se lo scopo della loro ricerca dovesse essere l'individuazione di leggi generali applicabili in qualsiasi punto della superficie terrestre o la comprensione delle caratteristiche peculiari dei singoli luoghi. Il primo paradigma è fortemente associato alla filosofia scientifica e quantitativa della geografia che caratterizzò gli anni Sessanta, mentre il secondo è collegato a una più antica attenzione per l'esplorazione e la descrizione regionale e trova oggi eco nel pensiero postmoderno. Se le leggi sono le stesse ovunque, allora selezionare un'area di studio per una ricerca è come selezionare un campione e non si avranno effetti importanti sul risultato. La maggior parte degli strumenti della ricerca statistica ampiamente utilizzati dai geografi durante la rivoluzione quantitativa dei tardi anni Cinquanta e degli anni Sessanta era a-spaziale, ignorava le locazioni geografiche dei casi analizzati. Ma gli strumenti GIS catturano le locazioni geografiche, consentendo all'utente di scegliere tra la ricerca di leggi generali e l'esplorazione delle unicità geografiche. Permettono inoltre di cercare le eccezioni alle teorie o di chiedere, per esempio, se le teorie che sembrano funzionare per le aree suburbane sono applicabili anche alle aree rurali.

1.3.6. Incertezza

Sebbene delle tecniche per esprimere l'ignoranza e l'incertezza fossero usate diffusamente già nelle prime carte (per esempio, le aree bianche o la "terra incognita" delle zone interne dell'Africa), la cartografia moderna ha conservato ben pochi metodi per comunicare la mancanza di conoscenza o per avvertire il lettore della carta di una possibile imprecisione. Il confine tra lo Yemen e l'Arabia Saudita non è definito ed è generalmente indicato con delle barre; i corsi d'acqua intermittenti sono solitamente indicati con la stessa simbologia tratteggiata utilizzata per indicare caratteristiche progettate o in costruzione. Con queste poche eccezioni, le carte continuano a rassicurare sulla certezza delle informazioni presentate.

In realtà, la qualità delle informazioni presenti in una carta può essere ineguale e incerta. Le carte dei suoli, per esempio, mostrano aree di classe uniforme separate da linee sottili che rappresentano transizioni nette, sebbene sia evidente che le transizioni spesso non sono affatto così abrupte e che le aree sono spesso tutt'altro che omogenee. Queste informazioni potrebbero essere messe a disposizione del lettore nella legenda che spesso accompagna la carta o in testi allegati sulla

qualità dei dati della carta. Ma quando questa viene digitalizzata in un database GIS, è improbabile che le qualificazioni restino a immediata disposizione dell'eventuale utente dei dati.

In realtà molte carte non sono mai state pensate come raccolte di misurazioni scientificamente oggettive. I loro contorni tracciati hanno lo scopo di comunicare un'impressione della forma della superficie e non di catturare delle altezze precise. Ma l'utente ingenuo di un database GIS potrebbe benissimo credere che la risposta data dal sistema all'interrogazione su una quota di un dato punto corrisponda effettivamente a una misurazione scientifica, con un'accuratezza indicata dal grado di dettaglio riportato dal sistema stesso. È in questo strano modo che il GIS conferisce accuratezza e autorità ai dati che contiene.

Studi recenti sulla qualità dei dati nei GIS si sono occupati della visualizzazione come metodo appropriato per comunicare un significativo senso di qualificazione all'utente. I colori possono essere sfumati verso il grigio per indicare una mancanza di affidabilità degli attributi. Le linee di contorno in una schermata possono essere allargate o sfumate per riflettere l'incertezza del posizionamento, logica conseguenza dell'incertezza nel determinare l'altitudine. I confini tra classi sulle carte dei suoli o degli usi territoriali possono essere sfumati per indicare le zone di transizione e delle inclusioni di forma causale possono essere posizionate all'interno di alcune aree per indicare un'eterogeneità. Il messaggio importante di queste inclusioni casuali è che visualizzando una serie di possibili rappresentazioni o animazioni su uno schermo è possibile comunicare non la verità, ma una versione di essa. In effetti la ricerca sta tornando ai giorni in cui i cartografi rappresentavano abitualmente l'incertezza lasciando aree bianche sulle carte. La differenza sta però nel fatto che un GIS può comunicare l'incertezza in modo rigoroso e utile.

1.4. I GIS e l'intelligenza del territorio

Nuovi strumenti hanno spesso generato nuovi modi di pensare e le tecnologie GIS non fanno eccezione. Le tecnologie tradizionali utilizzate per creare le carte impongono delle limitazioni ai modi in cui i loro utenti possono vedere il mondo; queste limitazioni possono coincidere con un desiderio innato nell'uomo di un ambiente più semplice e ordinato. I GIS impongono minori limitazioni e aprono un nuovo ventaglio di prospettive sulle rappresentazioni del mondo. Da ciò sono emersi nuovi modi di pensare, tramite l'interrelazione tra le tecnologie geografiche informatiche, i loro promotori e i loro utenti.

Anche le più eleganti tra le tecniche cartografiche consentono di visualizzare solo un numero limitato di attributi per ciascuna caratteristica presente sulla carta, mentre la sua scala impone dei limiti alle dimensioni delle informazioni che vi possono essere incluse. Dato che i database digitali non hanno una scala, non

impongono nemmeno dei limiti alla densità delle informazioni. Un sistema di memorizzazione digitale non ha bisogno di dedicare grandi quantità di spazio a un deserto, di semplificare la complessità di una popolatissima area urbana o di limitare la quantità di informazioni associate a una singola caratteristica.

Le carte tendono a enfatizzare le relazioni orizzontali tra caratteristiche di estensione comparabile e a sottintendere un'equazione tra estensione e importanza. Un database geografico consente di accedere ai rapporti tra caratteristiche grandi e piccole e può spostare l'attenzione sull'importanza del piccolo e del particolare come su quella del grande e del generale.

Le carte sono intrinsecamente bidimensionali e statiche, mentre le tecnologie digitali possono catturare gli aspetti tridimensionali e temporali delle variazioni geografiche. Una carta bidimensionale non può mostrare la differenziazione verticale dell'atmosfera né gli effetti climatici che ne derivano e tantomeno il comportamento di un pennacchio tridimensionale di idrocarburi inquinanti al di sotto di un serbatoio di carburante sotterraneo difettoso. La capacità di gestire dati tridimensionali nei database geografici digitali incoraggerà a investigare l'ambiente sotterraneo e a pensare all'atmosfera come a un sistema tridimensionale. Aggiungere la dimensione temporale ai database incoraggerà a pensare in termini di cambiamento continuo nella distribuzione geografica della popolazione umana, anziché secondo la temporizzazione periodica promossa dai censimenti tradizionali.

I GIS e le nuove tecniche di analisi esplorativa dei dati spaziali consentono di esaminare le informazioni nel loro contesto geografico e di chiedere in che modo mutino le condizioni da un'area all'altra. I nuovi metodi di analisi spaziale, come la tecnica sviluppata da Openshaw e dai suoi colleghi per cercare raggruppamenti di malattie, enfatizzano l'importanza dell'esplorazione e la necessità di combinare le capacità intuitive dell'occhio umano alla ricerca di schemi, con il rigore dell'analisi statistica.

Infine, la semplice azione di analizzare grandi quantitativi di dati geografici di accuratezza relativamente bassa con computer estremamente precisi costringe a ripensare il ruolo delle carte come depositarie di misurazioni scientifiche. È evidente che non si conosce il mondo quanto si crede e il fatto di averlo compreso sta costringendo a riscoprire vecchi modi di comunicare l'incertezza e a inventarne di nuovi per mettere in guardia gli utenti delle tecnologie informatiche geografiche contro un'eccessiva fiducia nella scientificità dei dati a loro disposizione. Ancora una volta il mondo si sta dimostrando meno semplice di quanto le carte spingessero a credere. L'impatto sui sistemi, basati su carte, di proprietà, regolamentazione e tassazione della terra è ancora tutto da scoprire.

La capacità di memorizzare i contenuti di carte nei computer continuerà negli anni a venire a suggerire nuovi modi di pensare il mondo. In questo senso, il GIS ha solo iniziato a influenzare le miriadi di modi in cui la società utilizza le

informazioni geografiche. Bisogna ancora scoprire come la capacità di visualizzare carte stradali digitali nelle automobili influenzerà la progettazione delle carte medesime o il modo in cui le persone esplorano e si orientano in ambienti sconosciuti. L'adozione diffusa di computer multimediali nelle case di tutto il mondo industrializzato porta a una conoscenza più approfondita delle altre aree del pianeta o ad un ulteriore radicamento degli stereotipi più vieti?

Le idee emerse dai GIS sono attualmente limitate alla comunità scientifica e alle agenzie che disponevano delle risorse per acquistare questa tecnologia. Ma oggi si sta entrando in un'era di GIS per il mercato di massa, che utilizzano strumenti semplici e puntano ad applicazioni più ampie. L'impatto di questi strumenti sarà un affascinante argomento di studio per i geografi.

In questo capitolo l'attenzione è stata rivolta soprattutto alle nuove idee tecniche relative ai GIS, poiché sono state queste a dominare gli ultimi quattro decenni della ricerca geografica, impegnata nel rendere i GIS praticabili ed economicamente vantaggiosi. In futuro le idee di origine tecnologica avranno probabilmente un afflato più radicalmente sociale: già oggi si inizia a vedere l'impatto dei GIS in questa direzione. Molto è già stato scritto sul potere dell'informazione di cambiare la società e una minima parte di questa letteratura si occupa specificatamente di dati geografici.

Ma a parte queste prospettive per il futuro, il GIS e gli strumenti a esso simili hanno già dato vita a una buona dose di nuove idee e nuovi modi di pensare il mondo geografico. Alcune di queste saranno illuminanti, altre limitanti quanto la carta e la penna. In fondo, per chi ha solo un martello, prima o poi tutto incomincia ad assomigliare a un chiodo. Allo stesso modo un GIS eccessivamente semplice può incoraggiare una visione ristretta del mondo, in cui i luoghi sono ridotti a punti, linee e aree. Solo lavorando per migliorare questo strumento ci si può assicurare che i suoi effetti continuino a essere stimolanti.

2. Il modello di dati di un GIS

2.1. I tipi di dati

I sistemi GIS consentono l'analisi e l'integrazione di informazioni di natura diversa; ogni lavoro richiede la costruzione del modello conoscitivo, privilegiando l'esame delle fonti informative già approntate, dalle quali poter derivare archivi alfanumerici, vettoriali e raster rappresentativi di un patrimonio sociale prezioso. La presenza di informazioni diverse, dati geografici e dati alfanumerici rende necessario dover utilizzare, all'interno di un sistema GIS, modelli di dati strutturati in formati differenti:

- carte
- immagini
- dati digitali
- dati testuali
- tabelle
- GPS.

Grazie a questi dati è possibile approntare un database geografico su cui operare le analisi e le interrogazioni per la produzione di mappe e report.

2.1.1. I dati vettoriali

I dati vettoriali vengono utilizzati per la descrizione della componente geografica dell'informazione territoriale; le caratteristiche geometriche di un determinato oggetto sono registrate come una successione di coordinate (x, y) dei punti che lo formano.

Tipici dati memorizzati in formato vettoriale sono quelli che provengono dalla digitalizzazione manuale di mappe, dai rilievi topografici effettuati con strumenti di campagna, dai CAD o dai GPS.

È importante evidenziare il fatto che in un GIS le informazioni vettoriali sono sempre accompagnate da informazioni topologiche.

La *topologia* è la branca della matematica che studia le relazioni tra gli oggetti geometrici; essa analizza quelle proprietà delle figure che si mantengono inalterate anche quando le figure stesse subiscono una deformazione continua.

Nel modello di dati vettoriale si utilizzano una serie di primitive per rappresentare gli oggetti del mondo reale: il punto, la linea e l'area.

Si riscontrano numerosi problemi nel descrivere geometricamente un'entità territoriale utilizzando queste primitive; per esempio, per rappresentare l'idrografia di un territorio occorrerebbe utilizzare, contemporaneamente, primitive di tipo area e di tipo linea. I software GIS gestiscono queste situazioni definendo primitive complesse, formate da più primitive semplici, sia dello stesso tipo che di tipo diverso. In questa sezione ci si limita a discutere il caso in cui una primitiva semplice descrive in modo compiuto l'entità territoriale.

2.1.1.1. La primitiva punto

La primitiva punto è costituita da una coppia di coordinate, che ne descrivono la componente geometrica, e da un insieme di attributi, che descrivono la parte non spaziale dell'informazione; modella oggetti che si possono rappresentare geometricamente come punti. Un oggetto può essere rappresentato come punto se:

- è semanticamente un punto;
- è un punto alla scala a cui si opera;
- è un punto per l'applicazione che si sta sviluppando.

Esistono pochi oggetti che semanticamente possono essere considerati veri e propri punti, tali cioè da non perdere la loro caratteristica geometrica al cambiare della scala a cui si opera. Un esempio di entità puntuale è un punto trigonometrico, anche se in questo caso l'entità non rappresenta qualcosa di naturale, ma un oggetto creato dall'uomo.

Altre entità, nonostante la loro struttura areale, rappresentano oggetti piccoli rispetto alla scala a cui si opera. Ad esempio un comune può essere rappresentato come insieme di entità areali e lineari in una carta tecnica, mentre in una carta turistica a piccola scala viene rappresentato come un punto.

Alcune entità hanno una struttura areale, ma possono essere rappresentate come punti per motivi che dipendono dall'uso che si intende fare dei dati, come nel caso di una carta turistica in cui una città, pur avendo una forma tale da essere rappresentabile come un'area, viene rappresentata in forma puntuale, in quanto l'interesse del fruitore è quello di riuscire ad individuare la via migliore per raggiungerla.

2.1.1.2. La primitiva linea

La primitiva linea è costituita da un insieme ordinato di punti e da un insieme di attributi che descrivono la componente alfanumerica dell'informazione; ogni

coppia di punti contigui della sequenza identifica un segmento facente parte della primitiva; il punto iniziale e quello terminale sono chiamati *estremi*, i punti intermedi vertici.

La primitiva linea modella oggetti che possono essere rappresentati come linee; tale rappresentazione dipende, come nel caso dei punti, dalla scala utilizzata o dalla specifica applicazione. Tuttavia, molti oggetti che a prima vista appaiono linee, di fatto non lo sono. Si consideri, ad esempio, la linea di costa, che appare come un'entità lineare; in realtà essa è l'elemento separatore di due entità areali, la terra e il mare.

Un caso interessante di come gli oggetti, in funzione della scala, possono essere rappresentati come linea o come area, è la viabilità. Una strada è chiaramente un'entità areale e, operando a scale relativamente grandi come nel caso di una carta tecnica, essa è rappresentata come un'area; se invece si lavora a scale piccole, la larghezza della strada obbliga all'utilizzo di una rappresentazione di tipo linea.

In genere gli oggetti che vengono rappresentati tramite linee sarebbero descritti in modo ottimale da linee curve, mentre la primitiva linea è una spezzata. Pertanto, quando si rappresenta un oggetto tramite una primitiva linea, si opera un'approssimazione dal punto di vista geometrico: viene di fatto introdotto un errore quantificabile nella freccia compresa tra un arco e la corrispondente corda, detto *errore di discretizzazione*.

Un'ulteriore considerazione riguarda gli attributi associati a una linea: a una primitiva geometrica, infatti, possono essere associati attributi che descrivono caratteristiche dell'entità che la primitiva rappresenta. Si supponga ad esempio di descrivere una rete stradale formata da entità elementari che rappresentano "tratti di strada": a ognuno di questi tratti sono associati attributi che indicano il tipo (autostrada, strada statale, ecc.), il nome e la sua pavimentazione (asfaltata, bianca). Si consideri un tratto di strada con le caratteristiche riportate in tabella 2.1 e si supponga che il tratto 16 venga asfaltato parzialmente: in tal modo il valore "Bianca" per l'attributo "Pavimentazione" non è valido per l'intero tratto considerato. Per risolvere questa situazione è necessario modificare la geometria dell'oggetto.

Tabella 2.1. Informazioni relative ai diversi tratti della S.P. Ionica

Tratto	Tipo Strada	Nome	Pavimentazione
....	Provinciale	Ionica
15	Provinciale	Ionica	Asfaltata
16	Provinciale	Ionica	Bianca
17	Provinciale	Ionica	Bianca
....	Provinciale	Ionica

Ciò si verifica in quanto il valore di un attributo, che descrive una caratteristica di

una data entità, deve ritenersi valido per tutta l'entità; questa condizione è detta omogeneità degli attributi.

Pertanto, quando si usa la primitiva linea, occorre tener presente il problema di modellazione, il problema di discretizzazione e il principio dell'omogeneità degli attributi.

2.1.1.3. La primitiva area

La primitiva area è costituita da un insieme ordinato di punti e da un insieme di attributi che descrivono la componente alfanumerica dell'informazione; come nel caso della linea, ogni coppia di punti contigui della sequenza identifica un segmento facente parte della primitiva; a differenza della linea, il punto iniziale e quello terminale coincidono.

La primitiva area descrive quella parte di piano che si trova all'interno dell'insieme dei segmenti formati dalle coppie di punti. Essa modella oggetti che possono essere rappresentati come aree e, come tale, non presenta problemi di modellazione.

Come la linea, l'area, essendo descritta da una spezzata che approssima una curva, presenta problemi di discretizzazione che causano una riduzione del perimetro e una variazione della superficie; sempre in analogia con la linea, ha gli stessi problemi riguardanti l'omogeneità degli attributi al suo interno. Se un attributo varia all'interno di un'entità, è necessario dividere l'entità originaria in due o più oggetti in modo da avere omogeneità di attributi.

Quando si usa una primitiva area per modellare un oggetto occorre tener presente il problema di discretizzazione e il problema dell'omogeneità degli attributi.

2.1.2. I dati raster

Come nel caso dei dati vettoriali, anche i dati raster sono utilizzati per la descrizione della componente geografica dell'informazione territoriale; le caratteristiche geometriche di un determinato oggetto sono rappresentate come una griglia (formati grid) o come una insieme di pixel (formati image); vengono memorizzate le coordinate di ogni cella o pixel.

Tipici dati raster sono quelli generati dagli scanner e dai programmi di interpretazione di immagini, come quelli utilizzati per le immagini da satellite. In tal caso gli standard più comuni sono TIFF, RLC, LAN e grid, spesso impiegati in diversi campi di applicazione.

Tra i dati raster, in ambiente GIS assume particolare importanza il formato grid, che sarà descritto accuratamente in questo stesso capitolo, nonché in quello dedicato all'estensione Spatial Analyst, utilizzata appunto per la gestione di questo tipo di formato.

Nel modello dei dati di un software GIS, i dati vettoriali e i dati raster sono coesistenti e integrati: i primi sono generalmente usati per dati discreti e i secondi per dati continui; è possibile la conversione di dati raster in vettoriali e viceversa. Entrambi i tipi di dati possono essere associati ad attributi: i dati vettoriali saranno legati alle primitive grafiche e agli oggetti, i dati raster ai singoli pixel o alle singole griglie.

Esistono diversi tipi di immagini raster che riportano informazioni relative al territorio, ognuna con uno specifico contenuto informativo e con specifiche modalità di gestione all'interno di uno strumento GIS:

- fisiche
- classificate
- cartografiche
- fotografiche.

2.1.2.1. Le immagini fisiche

Nel caso delle immagini fisiche, ogni pixel indica una misura effettuata in una particella di territorio relativa ad una grandezza definita, in genere, in modo continuo sul territorio stesso.

Nel caso più comune la particella è quadrata (pixel) e la misura può riferirsi:

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

Nel caso di immagini telerilevate da aereo o da satellite, la grandezza che si misura è la quantità di energia proveniente dal pixel attraverso meccanismi di riflessione o di emissione; poiché il sensore effettua un'unica misura dell'energia proveniente dal pixel, si fa riferimento al primo caso.

Lavorando su dati altimetrici, se questi sono codificati in un modello grid, è preferibile conoscere la quota massima che il terreno raggiunge all'interno del pixel piuttosto che la quota media, facendo quindi riferimento al secondo caso; questa affermazione è tanto più vera quanto più grandi sono le dimensioni del pixel.

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

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

Un'immagine fisica può essere georeferenziata per poter essere sovrapposta in modo coerente su altri dati geografici; dopo ciò, ad ogni pixel dell'immagine è associabile una coppia di coordinate.

2.1.2.2. Le immagini classificate

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

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

Un'immagine classificata può essere generata da diversi processi:

- classificazione di un'immagine fisica: il processo di classificazione trasforma, secondo un modello predefinito, insiemi di pixel che riportano il valore di una grandezza in insiemi di pixel che indicano classi; nel caso di un'immagine telerilevata i valori di radianza possono essere trasformati in simboli che indicano classi di land-cover;
- rasterizzazione di dati vettoriali: una mappa vettoriale di aree, ad esempio, con associato un valore, può essere rasterizzata sovrapponendo ad essa una griglia e assegnando ad ogni pixel della griglia il valore dell'area corrispondente; in questo caso non si ha un processo di classificazione in quanto la mappa vettoriale è già un dato classificato, ma soltanto una variazione del modello geometrico;
- acquisizione: questo caso è identico al terzo caso discusso per l'immagine fisica, salvo il tipo di grandezza considerata. Se la grandezza che viene acquisita non è una grandezza fisica su cui si possono fare ipotesi di continuità, ma una grandezza che descrive una tipologia, l'immagine risultante è un'immagine classificata; di fatto, quando durante l'acquisizione si associa a un pixel il valore di una grandezza che descrive dei tipi, è l'operatore stesso che effettua un processo di classificazione: nel caso di un inventario forestale, una grandezza di questo tipo può indicare, ad esempio, la specie di pianta.

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

Un'immagine classificata può essere georeferenziata in modo analogo ad un'immagine fisica e, quindi, data la posizione di un pixel nella matrice, le sue coordinate geografiche risultano calcolabili.

2.1.2.3. Le immagini cartografiche

Un'immagine cartografica è un documento raster ottenuto dalla scansione di una

carta tramite uno strumento rasterizzatore. Da un punto di vista strettamente fisico, ogni pixel indica una misura di riflettanza effettuata in una zona di una carta, pertanto l'immagine potrebbe essere considerata un'immagine fisica; tuttavia, l'informazione acquisita (quella contenuta nella carta) è il risultato di una classificazione (quella dell'operatore che ha costruito la carta).

Se un'immagine cartografica riguarda una cartografia in bianco e nero, come accade in molti casi, l'immagine è binaria e i normali algoritmi di compressione sono in questo caso molto efficienti; in tal modo immagini di aree relativamente grandi risultano avere una dimensione contenuta.

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

Un'immagine cartografica viene in genere georeferenziata e questa operazione è semplice e accurata grazie alla natura stessa della carta.

2.1.2.4. *Le immagini fotografiche*

Le immagini fotografiche sono le comuni fotografie che, all'interno di uno strumento GIS, possono essere usate per documentare oggetti di particolare interesse, ad esempio immagini fotografiche di elementi naturali, di edifici, di monumenti possono essere utilizzate per creare catasti georeferenziati di tipo ambientale, per applicazioni urbanistiche o per strumenti di ottimizzazione dei percorsi turistici. L'immagine è memorizzata secondo uno dei tanti formati noti e viene all'occorrenza richiamata in un'apposita finestra. Sull'immagine non si fanno elaborazioni, ma solo eventuali interventi per migliorarne la resa.

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

2.1.3. *I dati alfanumerici*

Per la gestione delle informazioni descrittive legate ad un'entità spaziale, i software GIS utilizzano un *data base management system* (DBMS) di tipo relazionale, in cui le informazioni vengono memorizzate in tabelle. Ogni tabella è costituita da diversi campi (colonne), contenenti tipologie diverse di attributi, e da diversi record (righe), corrispondenti alle entità descritte.

La progettazione della base di dati di un sistema GIS è un'operazione complessa, che dovrebbe essere affrontata per fasi:

1. progettazione concettuale: vengono rappresentate le specifiche informazioni della realtà di interesse in termini di una descrizione formale e completa, ma indipendente dai criteri di gestione dei dati utilizzati dal software;
2. progettazione logica: lo schema concettuale viene tradotto nel modello di rappresentazione dei dati utilizzato del software;
3. progettazione fisica: corrisponde al linguaggio di programmazione del software prescelto.

L'elemento più interessante del modello dati di un GIS sono proprio i database. In genere la cartografia ha come obiettivo principale la produzione di carte per la rappresentazione delle informazioni; un GIS invece ha come obiettivo principale l'analisi dei dati, per diventare uno strumento di supporto alle decisioni.

Se, ad esempio, si fa riferimento allo studio di aree urbanizzate, l'utente di un GIS non ha solo bisogno di restituire una carta delle zone edificate, ma anche di rappresentare informazioni diverse riferite allo stesso edificio, come la zonazione IMU oppure le informazioni demografiche sulle persone che lo abitano. Collegando le singole entità alle banche dati del Catasto o dell'Ufficio Anagrafe, in un'architettura di dati ben congegnata, è possibile facilmente riferire ad ogni entità le specifiche informazioni di interesse.

La gestione delle informazioni in un DBMS avviene attraverso un apposito linguaggio, l'SQL (*Structured Query Language*); sviluppato nella seconda metà degli anni Settanta nel laboratorio di ricerca IBM di S. Josè in California, è diventato il linguaggio di riferimento per i database relazionali.

Il linguaggio SQL non è solo un linguaggio di interrogazione, ma presenta in forma integrata le funzionalità di entrambe le categorie di linguaggi utilizzati dalle basi di dati: il DDL (*Data Definition Language*) e il DML (*Data Manipulation Language*).

Per una trattazione completa sull'argomento si rinvia a testi specifici.

2.1.4. Le modellazioni tridimensionali

Un software GIS consente la gestione di oggetti tridimensionali attraverso un sistema a tre coordinate reali. È possibile generare modelli tridimensionali di due tipi:

- se si dispone di un insieme sparso di elementi quotati, si può utilizzare 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*), che differisce dal DTM in quanto presenta una distribuzione più densa di punti, per meglio descrivere la morfologia del terreno con tutte le sue variazioni e particolarità locali.

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, poiché gli oggetti, oltre ad una specifica geometria, possono fornire informazioni sull'andamento altimetrico. Negli interventi di ingegneria civile e territoriale si è ormai assunta la consuetudine di utilizzare modelli tridimensionali.

2.2. I formati dei dati

Alle varie tipologie di dati corrispondono diversi formati dell'ambiente GIS, alcuni dei quali utilizzano dati di diversa tipologia: è il caso ad esempio degli *shapefile*, dove sono contenute informazioni sia geometriche sia alfanumeriche. Per ciascun tipo di dato esistono differenti formati con caratteristiche e funzioni diverse.

In questo manuale viene data particolare importanza alle operazioni su dati di tipo vettoriale. Tra questi dati i formati più comunemente utilizzati sono lo *shapefile* e le *features classes* di un geodatabase.

Oltre a questi formati, in questo paragrafo sono illustrate le caratteristiche di due formati molto utilizzati nell'ambito delle analisi geografiche in ambiente GIS: i grid e i TIN.

2.2.1. Il formato shapefile

Il formato shapefile conserva in un unico insieme di dati la geometria (non topologica) e gli attributi di un'entità spaziale (punto, linea o poligono); tali dati vengono organizzati sulla base di più file caratterizzati dallo stesso nome, ma con estensione diversa. Il formato shapefile fu introdotto da ESRI con ArcView GIS v.2 all'inizio degli anni '90; a tutt'oggi una grande varietà di software utilizza gli shapefile per lo storage dei dati geografici.

Uno shapefile è composto almeno da tre file:

- un file per la gestione degli attributi (con estensione dbf);
- un file contenente le informazioni geometriche (con estensione shp);
- un file contenente i metadati (con estensione shx).

Possono essere presenti altri file contenenti informazioni opzionali:

- due file contenenti indici spaziali (con estensioni sbn e sbx);
- due file contenenti indici sui valori degli attributi (con estensioni aih e ain);
- un file contenente la legenda principale (con estensione avl);
- un file contenente metadati (con estensione xml).

I diversi file che compongono lo shapefile vengono gestiti da ArcMap e dalle altre applicazioni ESRI congiuntamente.

Gli oggetti di uno shapefile possono essere rappresentati con vestizioni grafiche create in base al valore di un determinato attributo; ad ognuno di essi, inoltre, può essere associata un'etichetta o un gruppo di etichette che si attivano e disattivano sulla base di range di scale prestabiliti.

2.2.2. Il formato grid

Il formato grid costituisce un particolare formato raster in cui i dati spaziali vengono organizzati come una griglia di celle quadrate, con un valore associato a ciascuna cella; essi possono essere utilizzati per la rappresentazione sia di immagini classificate che di immagini fisiche. Per la gestione di questo formato ArcGIS utilizza l'estensione *Spatial Analyst*.

Un grid descrive una caratteristica di una certa area, come ad esempio l'uso del suolo, la temperatura, le strade, i suoli; una descrizione completa di un territorio necessita pertanto l'utilizzo di numerosi grid.

Un grid è fatto da celle quadrate, ognuna delle quali rappresenta una determinata porzione di area; tutte le celle sono delle stesse dimensioni che possono essere scelte dall'operatore sulla base del dettaglio richiesto dalle analisi che occorre effettuare.

Ad esempio, in una mappa dell'uso del suolo, il valore 1 potrebbe rappresentare il bosco mentre il valore 4 le aree agricole.

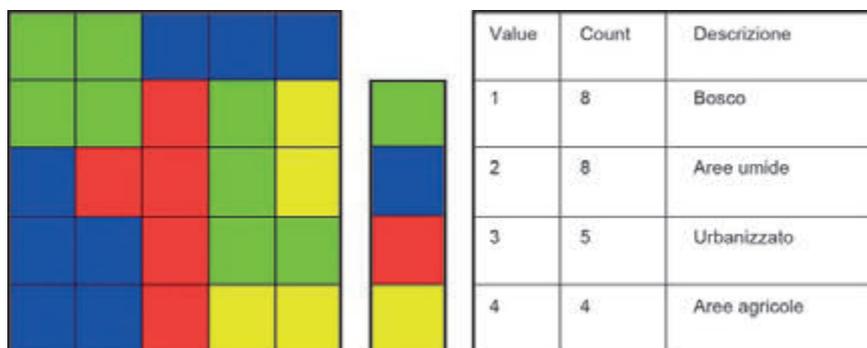


Figura 2.1. Rappresentazione dell'uso del suolo attraverso dati grid

Le celle sono organizzate secondo una matrice ortogonale che le raggruppa in righe e colonne; le righe della matrice sono parallele all'asse x del piano cartesiano e le colonne sono parallele all'asse y. Ogni cella ha un unico indirizzo per ogni riga e colonna e ogni porzione dell'area di studio è coperta dalla matrice.

Ad ogni cella è assegnato un valore che identifica o descrive la classe, la categoria

o il gruppo se si tratta di un'immagine classificata, oppure la quantità di un certo fenomeno se si tratta di immagini fisiche; i grid associati a immagini classificate vengono chiamati *integer*, quelli associati ad immagini fisiche *floating-point*. I grid *integer* hanno una tabella associata; essa è costituita da almeno due campi: l'elenco dei valori e il numero di celle associate a ciascun valore.

Le celle che presentano lo stesso valore costituiscono una zona; le zone possono essere costituite da celle connesse o discontinue. Zone costituite da celle connesse rappresentano singoli oggetti di un'area, come edifici, litologie, laghi; più oggetti dello stesso tipo, come i boschi di una regione o gli edifici di una città, possono essere rappresentati da zone disconnesse costituite da celle connesse.

Se ad una cella viene assegnato il valore "NoData", questo significa che non esistono informazioni sulla caratteristica considerata per quella determinata cella. I valori "NoData" vengono trattati in modo diverso rispetto agli altri valori in tutte le operazioni e funzioni; le celle con i valori "NoData" possono essere trattate in due modi:

- viene assegnato il valore "NoData" ad una certa cella nell'output se esiste il valore "NoData" per tutte le celle di input di un'operazione o una funzione, o dei suoi vicini in una funzione focale, o della sua Zona in una funzione zonale;
- viene ignorato il valore "NoData" e viene eseguito il calcolo utilizzando solo i valori validi.

La seconda opzione non è consentita quando si usano operatori tra due grid o con funzioni locali.

Come per gli altri formati di dati geografici, anche i grid sono relazionati a determinate posizioni nel mondo reale attraverso i sistemi di coordinate; nel caso del grid il sistema di coordinate determina l'orientazione degli assi della matrice ortogonale secondo cui sono orientate le celle.

La dimensione scelta per le celle di un grid di una determinata area di studio dipende dalla risoluzione dei dati e dal dettaglio richiesto nelle analisi. Le celle debbono essere abbastanza piccole per considerare il dettaglio richiesto, ma grandi abbastanza da poter essere memorizzate e analizzate senza eccessive difficoltà dal computer. Prima di specificare le dimensioni delle celle occorre sempre considerare i seguenti fattori:

- la risoluzione dei dati in input;
- le dimensioni dei risultati nel database e la capacità del disco utilizzato;
- il tempo richiesto nelle elaborazioni;
- le applicazioni e le analisi che si intendono produrre.

Una cella più piccola rispetto a quella dei dati in input potrebbe non produrre dati più accurati; in un'analisi su dati grid occorre tenere sempre presenti i fattori precedentemente elencati, considerandoli sia in relazione ai diversi layer utilizzati che alle interazioni determinate nel processo di analisi.

La risoluzione di un grid aumenta con il decrescere delle dimensioni delle celle, ma aumentano anche lo spazio sul disco richiesto e i tempi di elaborazione; per una data area, se si dimezza il lato delle celle che compongono il grid, lo spazio richiesto per memorizzare i dati aumenterà di circa quattro volte, in funzione del tipo di dati utilizzati e delle tecnologie usate per la memorizzazione.

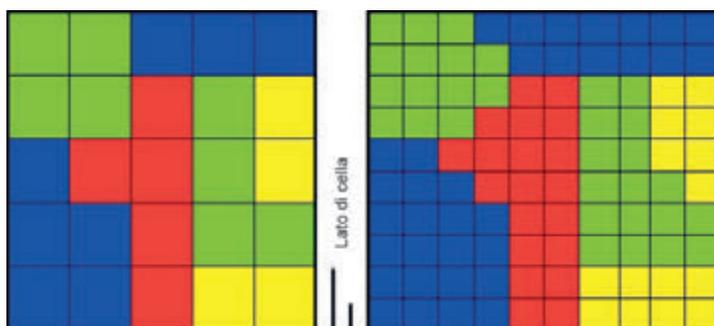


Figura 2.2. In un grid la precisione e la risoluzione aumentano diminuendo il lato delle cella

Se una cella rappresenta una porzione territoriale caratterizzata dalla compresenza di più valori per la variabile indagata, è necessario aggregare o prioritizzare un dato valore da assegnare alla cella; le dimensioni ottimali per catturare un appropriato dettaglio varia in base allo studio che si sta effettuando; celle più piccole migliorano la risoluzione e l'accuratezza, dovendo accettare un rallentamento della velocità di elaborazione e un aumento degli spazi per l'archiviazione necessari.

Quando si convertono punti, linee o poligoni in un grid, bisogna sempre prestare attenzione a come avviene la rappresentazione di dati raster.

Quando si devono rappresentare dei punti, ad ognuno viene associata la più piccola unità del grid, la cella; la cella ha un'area all'interno della quale sarà contenuto il punto che ne determinerà il valore. Occorre sempre definire una risoluzione tale da garantire che dentro ciascuna cella cada un solo punto.

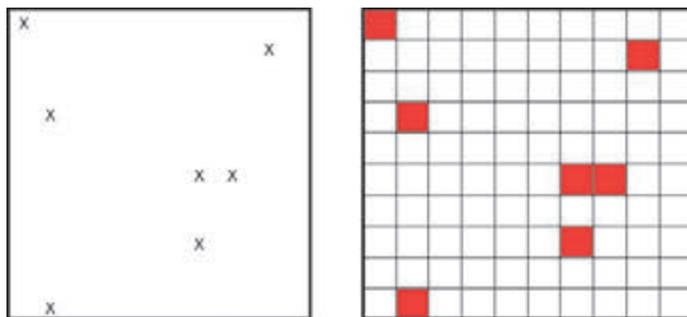


Figura 2.3. Creazione di un grid a partire da punti

Una linea viene rappresentata in formato grid attraverso una serie di celle connesse; tutte le celle che sono intersecate dalla linea sono utilizzate per la rappresentazione e prendono in valore riferito a quel tipo di oggetto. Anche in questo caso l'accuratezza della rappresentazione sarà collegata alla scala dei dati e alla risoluzione.

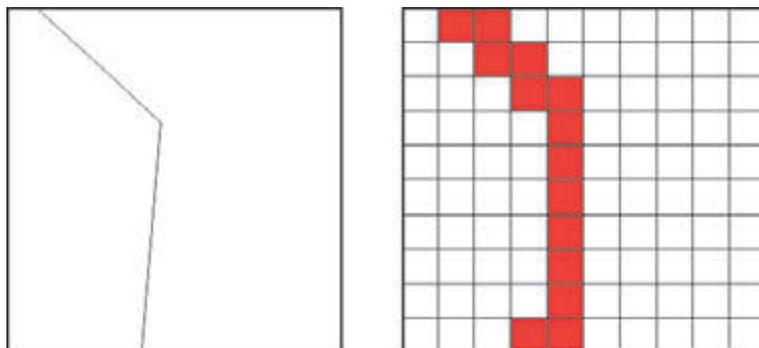


Figura 2.4. Creazione di un grid a partire da linee

I poligoni sono rappresentati attraverso serie di celle connesse per come meglio approssimano la forma degli oggetti rappresentati. Rappresentando oggetti con perimetri smussati, utilizzando le celle di un grid sorgono una serie di problemi; il principale viene chiamato *jaggies* e consiste in un effetto che ricorda i gradini di una scala; aumentando la risoluzione del raster questo problema può essere reso trascurabile.

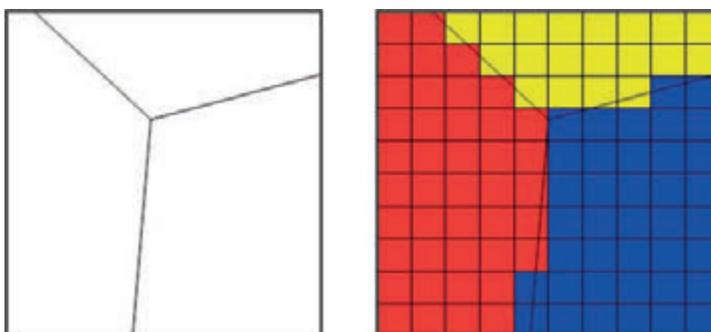


Figura 2.5. Creazione di un grid a partire da poligoni

2.2.3. Il formato TIN

Una superficie è un insieme continuo di valori che possono variare su un numero infinito di punti. Ad esempio, i punti in un'area sulla superficie terrestre possono

variare in elevazione, o può variare la vicinanza a un oggetto, o la concentrazione di una particolare sostanza chimica. Ognuno di questi valori può essere rappresentato sul l'asse z di un sistema di coordinate tridimensionale x, y, z , per questa ragione essi vengono chiamati valori z .

Poiché la superficie contiene un numero infinito di punti, si determina l'impossibilità di misurare e registrare il valore di z in ogni punto.

I modelli di superfici consentono di memorizzare le informazioni di superficie in un GIS, prendendo un campione di valori in punti diversi sulla superficie e poi interpolando i valori tra questi punti.

ArcGIS utilizza due tipi di modelli di superficie: raster e TIN. I raster rappresentano una superficie come una griglia regolare di punti campionati o di valori interpolati, come nel caso dei grid. I TIN rappresentano una superficie come un insieme irregolare di punti collegati per formare una rete di triangoli con valori z memorizzati nei nodi.

I TIN sono costituiti da nodi che memorizzano i valori z , collegati da bordi a formare triangoli contigui e non sovrapposti. I bordi di un TIN possono essere usati per acquisire la posizione di elementi lineari che svolgono un ruolo importante nella superficie, come strade o corsi d'acqua.

I triangoli sono costruiti secondo la triangolazione di Delaunay, tecnica matematica che permette a un cerchio contenente i tre vertici di un triangolo di non contenere altri punti.

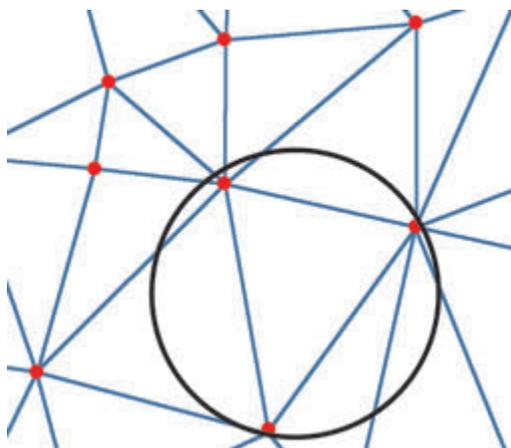


Figura 2.6
La triangolazione di Delaunay soddisfa la condizione che un cerchio contenente i vertici di un triangolo non conterrà altri punti; il metodo forma triangoli connettendo ogni punto di misura ai due più vicini

Poiché i nodi possono essere posizionati sulla superficie irregolare, il TIN può avere una risoluzione più alta nelle zone in cui una superficie è estremamente variabile e una risoluzione inferiore in aree che sono meno variabili o di minore interesse.

I punti di input utilizzati per creare una TIN rimangono nella stessa posizione, costituendo nodi o bordi nella superficie generata. Questo permette a un TIN di

preservare tutta la precisione dei dati di ingresso e allo stesso tempo di definire i valori nelle aree in cui non sono noti.

I modelli TIN sono meno ampiamente disponibili rispetto ai modelli di superficie raster e tendono ad essere più costosi da costruire ed elaborare. I TIN sono tipicamente utilizzati per la modellazione di alta precisione di più piccoli settori, ad esempio in applicazioni di ingegneria, dove sono utili perché consentono il calcolo di superfici planimetriche e di volumi.

Per gestire dati TIN in ArcGIS si utilizza l'estensione 3D Analyst.

2.2.4. *Il geodatabase*

Che cosa si deve fare con i dati GIS? Si ha bisogno di creare mappe di pericolosità sismica, di identificare l'habitat adatto per una specie in pericolo o trovare una posizione per una nuova attività? Forse è necessario integrare i dati della propria organizzazione in un unico sistema per razionalizzare la gestione delle risorse? Alla base di tutti questi interrogativi c'è la necessità di rappresentare e memorizzare i dati in modo da consentire analisi significative e precise e organizzare i flussi di lavoro.

Il modello di dati geodatabase, introdotto da ESRI, offre molti vantaggi per la modellazione, le analisi, la gestione e l'aggiornamento di dati GIS.

In modo sintetico si può dire che il geodatabase è un contenitore per la memorizzazione di dati spaziali, di attributi e delle relazioni che esistono tra di loro. In un geodatabase, che è un formato di dati vettoriali, gli oggetti geografici e i loro attributi associati possono essere strutturati per lavorare come un sistema integrato usando le regole, le relazioni e le associazioni topologiche. In altre parole, il geodatabase consente di modellare il mondo reale nel modo più semplice o complesso, sulla base di quello che le specifiche esigenze richiedano.

Con un geodatabase è possibile creare dati geografici che imitano il comportamento di specifiche caratteristiche del mondo reale, si possono applicare norme sofisticate e relazioni a queste caratteristiche e consentire l'accesso di numerosi utenti a dati conservati in una postazione centralizzata.

Quando si archiviano i dati GIS in un geodatabase, è possibile sfruttare le funzionalità di cui sopra e molte altre ancora. In questo paragrafo, saranno analizzate le caratteristiche di base e le funzionalità che fornisce un geodatabase. Per capire veramente cos'è un geodatabase e come utilizzarlo nell'ambito del proprio lavoro è necessario conoscere i sottotipi, i domini, le relazioni e altro ancora. Ciascuna di questi componenti definisce un modello di dati avanzato che può essere realizzato in un geodatabase standard.

In particolare si vedrà:

- come sono memorizzati i dati geografici in un geodatabase;
- quali sono le differenze tra i diversi tipi di geodatabase;
- quali sono le componenti principali del geodatabase;

- come vengono gestiti i dati raster dal geodatabase;
- come si accede alle informazioni di un geodatabase e alle sue componenti.

Il geodatabase è la logica applicativa standard di ArcGIS per accedere e lavorare con tutti i file e i formati di dati geografici. Non si tratta di un semplice formato di dati, come ad esempio gli shapefile, ma di un modello di dati; la differenza risiede nel fatto che un geodatabase, oltre ai dati, è in grado di memorizzare anche regole e relazioni (sulle features o sugli attributi) che interessano gli oggetti del mondo reale che si stanno rappresentando al suo interno.

In un geodatabase possono essere inseriti dati geometrici vettoriali (singole feature class oppure gruppi organizzati in feature datasets), tabelle, dati geometrici raster (raster datasets e raster catalog), regole, relazioni topologiche e tools o modelli realizzati con il model builder.

Se vi sono più feature class all'interno di uno stesso feature dataset, esse prendono il riferimento spaziale del feature dataset stesso; si tratta di una delle caratteristiche principali di un feature dataset, perché di norma contiene feature class che concorrono allo stesso ambiente topologico o rete geometrica.

Il geodatabase lavora su una gamma di architetture di DBMS che hanno varie dimensioni e possono avere un numero variabile di utenti, da piccoli database a singolo utente fino a sistemi di grandi dimensioni, come i database aziendali. Sono pertanto disponibili due tipi di architetture: il personal geodatabase e il geodatabase multiutente.

L'architettura del geodatabase è basata su una serie di concetti semplici ma essenziali, legati ai modelli di costruzione dei database. Il DBMS fornisce un modello di dati semplice e formale per archiviare e lavorare con dati contenuti in tabelle. L'utente è portato a considerare il DBMS come intrinsecamente aperto, in quanto la semplicità e la flessibilità del modello generico dei dati relazionali lo mettono in grado di supportare un'estesa serie di applicazioni.

È utile fissare alcuni elementi strutturali di un DBMS:

- i dati sono organizzati in tabelle;
- le tabelle contengono righe;
- le righe di una tabella hanno le stesse colonne;
- ogni colonna contiene dati aventi lo stesso dominio (un numero intero, decimale, un carattere, una data, ecc.);
- le righe di una tabella possono essere correlate con le righe di un'altra tabella grazie a una colonna comune alle tabelle coinvolte nella relazione, chiamata chiave primaria nella tabella principale e chiave esterna nella tabella correlata;
- i dataset basati su tabelle prevedono l'esistenza di regole di integrità relazionale;
- per operare sulle tabelle e sui loro dati è disponibile una serie di funzioni e di istruzioni SQL.

Le tabelle spaziali in un geodatabase, come le tabelle dei dataset raster e delle feature class, aderiscono agli stessi principi dei DBMS. Per ogni oggetto geografico una delle colonne contiene i dati spaziali: per esempio il campo shape memorizza la geometria dei poligoni in una tabella di una feature class.

Per memorizzare il campo shape in una tabella, i vari DBMS utilizzano diversi tipi di dati, generalmente o un Binary Large Object (BLOB) o un tipo spaziale esteso che è supportato in alcuni DBMS (per esempio Oracle, con la sua estensione Spatial, permette di definire una colonna di tipo spaziale).

Un geodatabase viene creato, modificato e gestito utilizzando il menu STANDARD e gli strumenti di ArcCatalog e ArcMap.

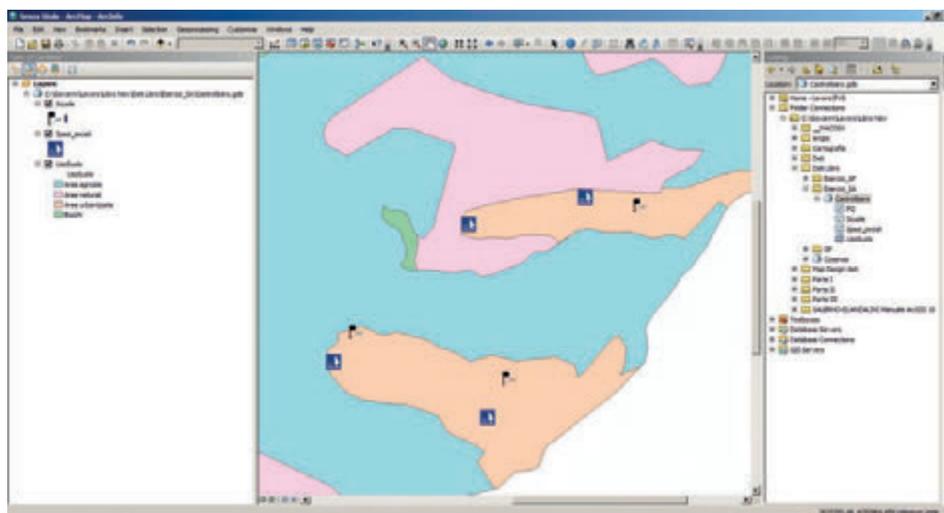


Figura 2.7. I dati contenuti nel geodatabase Catrolibero.gdb sono elencati nel Catalog Tree di ArcCatalog e vengono visualizzati nella Data View di ArcMap

2.2.4.1. I vantaggi di usare un geodatabase

L'obiettivo di ogni utente GIS è quello di creare una rappresentazione più accurata possibile del mondo reale. Per molte applicazioni, il geodatabase può supportare il conseguimento di questo obiettivo. L'idea fondamentale dietro il geodatabase è quella di facilitare il lavoro con dati e software GIS, rendendo i processi più intuitivi.

Tutte le funzionalità di seguito riportate possono essere realizzate utilizzando i comandi standard di ArcGIS applicati ad un geodatabase, senza che siano necessarie conoscenze di programmazione:

- gestione centralizzata di dati geografici: l'utilizzo di un geodatabase facilita

l'accesso e la gestione di dati GIS; è possibile gestire i profili di accesso a ogni singola features class;

- gruppi di oggetti continui: il geodatabase può contenere grandi set di dati, anche privi di informazioni o riferimenti spaziali;
- geometrie complesse: il geodatabase supporta oggetti vettoriali in due, tre e quattro dimensioni, oggetti curvilinei e oggetti multiparte;
- supporto COGO: con semplici operazioni è possibile convertire coverage ArcInfo in semplici features classes per poi essere editate utilizzando gli strumenti di ArcMap;
- sottotipi: è possibile associare dei valori agli oggetti utilizzando i sottotipi; creando un nuovo oggetto sarà possibile definire il valore di un attributo scegliendolo dall'elenco di un sottotipo; in questo modo si riducono i tempi di editing dei dati e il rischio di commettere errori durante le operazioni di data-entry;
- regole basate sulla topologia: è possibile definire relazioni spaziali tra gli oggetti utilizzando regole topologiche; definite le relazioni spaziali tra i dati è possibile decidere le regole topologiche appropriate;
- strumenti di editing accurati e precisi: validando le regole topologiche è possibile prevenire molti errori che diversamente sarebbe difficile individuare;
- annotazioni collegate ad oggetti geografici: è possibile creare annotazioni che automaticamente si aggiornano quando i dati che esse descrivono vengono editati o spostati;
- oggetti personalizzati: è possibile aggiungere intelligenza agli oggetti memorizzati in un geodatabase simulando interazioni e comportamenti degli oggetti nel mondo reale;
- reti geometriche: le reti geometriche vengono utilizzati per la gestione di problemi legati ai flussi; una rete geometrica è costituita da linee e punti con relazioni topologiche specifiche tra gli elementi;
- referenziazione lineare: è possibile definire la posizione relativa lungo oggetti lineari quali strade o reti tecnologiche, costruendo un sistema di referenziazione lineare. La referenziazione lineare consente di memorizzare una posizione come distanza da un punto noto, calcolata lungo una direttrice lineare;
- versioning: può capitare che più utenti debbano editare il geodatabase nello stesso momento. Se lo stesso oggetto viene editato contemporaneamente da più utenti, le modifiche possono essere integrate e il geodatabase viene aggiornato;
- editing disconnesso: è possibile modificare i dati su un computer non connesso alla rete e successivamente aggiornare le modifiche nel geodatabase. Ad esempio, se si stanno raccogliendo dati in campo utilizzando un palmare è possibile estrarre un sottoinsieme di dati relativi a una determinata area di studio, editarli in campo e aggiungere i dati editati al geodatabase al rientro in ufficio;

- supporto di strumenti UML e CASE: il geodatabase supporta strumenti standard di progettazione di basi di dati quali Unified Modelling Language (UML) e Computer Aided Software Engineering (CASE);
- scambio dati XML: è possibile condividere i dati memorizzati in un geodatabase in un ambiente aperto e interoperabile importando ed esportando una parte o tutto un geodatabase come file XML.

2.2.4.2. I tipi di geodatabase

Ci sono diversi tipi di geodatabase che sono stati progettati per supportare le necessità di memorizzazione dati per diversi flussi di lavoro:

- Personal Geodatabase
- File Geodatabase
- Geodatabase multiutente.

Questi ultimi geodatabase utilizzano la tecnologia ArcSDE. Il Geodatabase multiutente è disponibile a tre livelli:

- desktop
- workgroup
- enterprise.

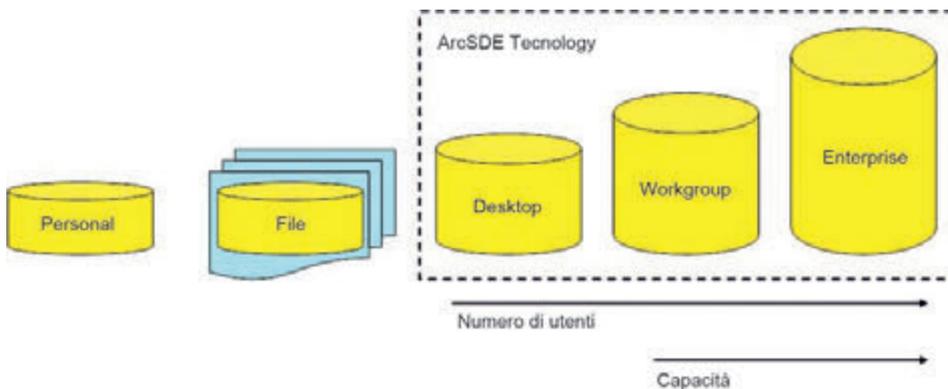


Figura 2.8. I diversi tipi di geodatabase

PERSONAL GEODATABASE

Un personal geodatabase può essere letto da più utenti contemporaneamente, ma l'editing può essere eseguito da un solo utente. Un Personal Geodatabase ha come estensione MDB (il formato utilizzato da Microsoft Access) e ha una dimensione massima di 2 gigabyte (GB). Personal Geodatabase sono adatti per piccoli gruppi di lavoro e per la gestione di dataset con dimensioni modeste.

FILE GEODATABASE

Il File Geodatabase è un nuovo tipo di geodatabase utilizzato a partire dalla versione ArcGIS 9.2. Questo geodatabase, che ha l'estensione GDB, memorizza i set di dati in una cartella di file. Con il File Geodatabase si possono memorizzare set di dati fino a 1 terabyte (TB) di dimensioni. Anche in questo caso una persona per volta può modificare un singolo elemento del geodatabase, ma più utenti possono visualizzare ed interrogare i dati memorizzati. I File Geodatabase sono il formato nativo di dati per ArcGIS, e gli esercizi proposti in questo manuale utilizzano questo formato.

GEODATABASE MULTIUTENTE

Un Geodatabase multiutente è utilizzato in genere da organizzazioni di grandi dimensioni, in cui gli utenti hanno la necessità di visualizzare e modificare il database GIS simultaneamente. Un Geodatabase multiutente supporta il Versionien e il Backup; richiede una tecnologia ArcSDE e un sistema di gestione di database (DBMS) come Informix, Microsoft SQL Server, Microsoft SQL Server Express, o Oracle.

La tabella 2.2 mette a confronto alcune caratteristiche dei diversi tipi di geodatabase.

Tabella 2.2. Caratteristiche dei diversi tipi di geodatabase

Tipo	Numero di utenti in editor	Dimensioni	Tecnologia RDBMS	Licenza	Versioning
Personal	1	2 Gb	Microsoft Access (Jet Engine) I + D	ArcInfo, ArcEditor, ArcView	No
File	1 per ciascuna Feature Dataset o Feature Class	Nessun limite per il geodatabase, 4 Tb per ciascun file	Struttura di file locale	ArcInfo, ArcEditor, ArcView	No
Desktop	1 in editor e 3 in lettura	4 Gb	SQL Server Express	ArcGIS Desktop, ArcGIS Engine	Sì
Workgroup	10 in editor o in lettura	4 Gb	SQL Server Express	ArcGIS Server Workgroup	Sì
Enterprise	Illimitato in editor o in lettura	Dipende dal Server	DB2, Informix, Oracle, SQL Server, PostgreSQL	ArcGIS Server Enterprise	Sì

2.2.4.3. Le funzionalità scalabili

In molte organizzazioni, la creazione, l'integrazione, la gestione e l'analisi di dati geografici sono gestite da più di una persona. Ad esempio, la persona (o gruppo) responsabile per l'analisi dei dati di solito non è la stessa persona che progetta il database GIS.

Questa distribuzione delle funzioni si riflette nella funzionalità scalabili di un geodatabase. Una licenza Basic fornisce funzionalità geodatabase fondamentali, come la creazione di un geodatabase, popolato con dati e funzioni di editing semplice. Licenze Standard e Advanced forniscono funzionalità più avanzate, come ad esempio la possibilità di creare e modificare i sottotipi e le reti geometriche. Questa sezione riguarda principalmente le funzionalità di base del geodatabase. Tuttavia, alcuni argomenti discuteranno funzionalità più avanzate. Nell'introduzione a ciascuno di questi argomenti, troverete una tabella che riassume le differenze di funzionalità per Basic, Standard e Advanced.

2.2.4.4. La struttura di un Geodatabase

Un geodatabase ha tre componenti principali: classi di oggetti (feature classes), gruppi di classi di oggetti (feature dataset) e tabelle non spaziali. Tutti e tre i componenti sono creati e gestiti in ArcCatalog.

Una feature classes è un insieme di oggetti che condividono lo stesso tipo di geometria (punto, linea o poligono) e di riferimento spaziale.

Un feature dataset è un insieme di feature classes; tutte le feature classes di un dataset hanno lo stesso riferimento spaziale.

Una tabella non spaziale contiene dati alfanumerici che possono essere associati alle feature classes.

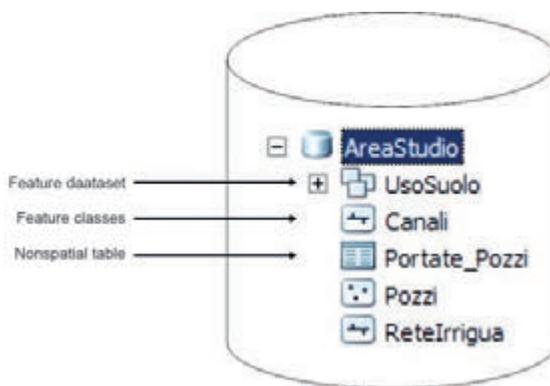


Figura 2.9
Un geodatabase può contenere
feature classes, feature dataset
e tabelle di dati non spaziali

FEATURES CLASS

Una feature classes è un insieme di caratteristiche geografiche, con lo stesso tipo di geometria, gli stessi attributi e lo stesso riferimento spaziale; le feature classes possono anche memorizzare annotazioni.

Ad esempio, tutti i pali del telefono a Bologna potrebbero essere rappresentati come una feature classes in un geodatabase; le strade potrebbero costituire un'al-

tra classe di oggetti; i quartieri di Bologna potrebbero essere una terza classe di oggetti.

FEATURES DATASET

Un feature dataset contiene un gruppo di feature classes che condividono lo stesso riferimento spaziale, ossia devono avere lo stesso sistema di coordinate.

Feature dataset sono principalmente utilizzati per memorizzare le feature classes che hanno relazioni topologiche, come la connettività, l'adiacenza o il contenimento. Per esempio, i flussi in uno spartiacque sono collegati a fiumi; pertanto, torrenti e fiumi sono topologicamente connessi.

Al fine di mantenere le relazioni topologiche tra le feature classes in un geodatabase, esse dovranno risiedere nello stesso features dataset.



Figura 2.10
Le due feature classes del features dataset
UsoSuolo sono associate delle relazioni
topologiche che devono essere rispettate
quando si editano gli oggetti

TABELLE

Il geodatabase è composto interamente da tabelle. Quando si lavora con un geodatabase in ArcCatalog e ArcMap, la maggior parte di queste tabelle sono nascoste agli utenti. L'interazione con le tabelle è gestita dal software. Ci sono solo due tipi di tabelle che interagiscono direttamente con l'utente: quelle collegate alle feature classes e le tabelle non spaziali.

Entrambi i tipi di tabelle vengono create e gestite in ArcCatalog e possono essere visualizzate in ArcMap; in entrambi i casi esse verranno rappresentate secondo lo schema tradizionale, suddivise in righe e colonne. La differenza è che nelle tabelle collegate alle feature classes sono presenti una o più colonne che memorizzano le informazioni sulla geometria e la posizione degli oggetti.

Le tabelle non spaziali contengono solo dati alfanumerici e nel display di ArcCatalog vengono rappresentati con una specifica icona. In un geodatabase, esse rappresentano tabelle stand-alone e possono essere associate con altre tabelle o feature classes, come si vedrà nei capitoli successivi. Quando una tabella non spaziale è associata ad una feature classes, è possibile eseguire una selezione basata sui dati non spaziali memorizzati nella tabella.