

NICCOLÒ DAINELLI FILIPPO BONECHI
MATTEO SPAGNOLO ANNA CANESSA

CARTOGRAFIA NUMERICA

MANUALE PRATICO PER L'UTILIZZO DEI GIS



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo e/o al programma allegato
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF7893

Indice

Premessapag. IX

PARTE PRIMA**1. Dalla cartografia tradizionale ai GIS**

1.1. Breve storia della cartografia	»	3
1.1.1. Origini della cartografia: dalla Tavoleta di Ga Sur a Eratostene	»	4
1.1.2. Da Tolomeo a Mercatore	»	7
1.1.3. Dal 1600 al 1900	»	12
1.1.4. La cartografia diventa numerica	»	13
1.2. Struttura e componenti di un GIS	»	17

2. I sistemi di riferimento per la georeferenziazione dei dati spaziali

2.1. Introduzione	»	23
2.2. Superfici di riferimento e coordinate	»	23
2.3. Sistema cartografico associato	»	27
2.4. I sistemi di riferimento geodetici in uso in Italia	»	29
2.5. Il georiferimento dei dati	»	31

3. I database geografici

3.1. Introduzione: il concetto di database	»	39
3.2. Dato ed informazione	»	39
3.3. Caratteristiche e requisiti di un database	»	41
3.4. I DBMS, sistemi di gestione dei database	»	43
3.5. I modelli di database	»	45
3.6. I database relazionali.....	»	46
3.6.1. Il modello relazionale	»	46
3.6.1.1. Aspetti generali	»	47
3.6.1.2. Vincoli di integrità	»	50
3.6.2. Operazioni sui database relazionali	»	53
3.6.2.1. Operazioni insiemistiche: unione, intersezione, differenza	»	54
3.6.2.2. Operazioni di eliminazione: proiezione e selezione.....	»	55
3.6.2.3. Operazioni di combinazione: il join	»	56
3.6.3. Cenni di SQL.....	»	58
3.6.3.1. La definizione dei dati	»	59
3.6.3.2. La manipolazione dei dati	»	61
3.6.4. Il modello geo-relazionale.....	»	66
3.7. Cenni di progettazione di database relazionali: dal modello concettuale al modello fisico	»	72
3.7.1. La progettazione in sintesi.....	»	72
3.7.2. Il modello concettuale	»	73
3.7.2.1. Accenni al meta-linguaggio UML	»	73
3.7.3. La normalizzazione	»	79
3.7.4. Il modello logico e l'implementazione in un (Geo)DBMS.....	»	83
3.8. Esempio di progettazione di un semplice database geografico	»	87
3.8.1. Analisi dei requisiti	»	87
3.8.2. Realizzazione del modello concettuale	»	88
3.8.3. Realizzazione del modello logico	»	91

4. Rappresentazione dei dati in ambiente GIS

4.1.	Introduzione: la percezione del paesaggio	»	95
4.2.	La scomposizione del paesaggio in fenomeni ed elementi geografici	»	96
4.3.	La rappresentazione degli elementi e dei fenomeni in ambiente GIS	»	97
4.4.	Il modello vettoriale	»	100
4.4.1.	Punti, linee e poligoni	»	100
4.4.2.	Gli attributi associati agli elementi vettoriali	»	101
4.4.3.	La topologia: connettività, adiacenza e contenimento	»	102
4.5.	Il modello a superfici continue	»	104
4.5.1.	I raster di immagini e raster geografici	»	105
4.5.2.	Dal vettoriale al raster	»	106
4.5.3.	La risoluzione di un raster	»	107
4.5.4.	Le analisi del DEM: acclività ed esposizione dei versanti, immagini ombreggiate ..	»	107

PARTE SECONDA

1. Introduzione agli esercizi	»	113
--	---	-----

2. L'uo dei software GIS

2.1.	Introduzione	»	115
2.2.	<i>ArcCatalog</i>	»	118
2.3.	<i>ArcMap</i> (lavorare con le MAP, la TOC e la selezione delle FEATURES)	»	124
2.4.	<i>ArcMap</i> (<i>layer properties</i>)	»	129
2.5.	<i>ArcMap</i> (rappresentazione dei dati)	»	139

3. Produzione di georeferenziazione e problematiche di conversione delle coordinate

3.1.	Introduzione all'esercitazione	»	149
3.2.	Esercizio 1 – La georeferenziazione di una mappa <i>raster</i>	»	149
3.3.	Esercizio 2 – La georeferenziazione di una foto aerea.....	»	157
3.4.	La conversione delle coordinate	»	160
3.5.	Considerazioni sulla conversione di coordinate	»	162

4. La creazione del database geografico

4.1.	Creazione di un <i>Personal Geodatabase</i> in <i>ArcView 9</i> : principi e metodi	»	163
4.2.	Esempio: implementazione del modello logico in un <i>Personal Geodatabase</i> di <i>ArcView 9</i>	»	164
4.2.1.	Creazione del <i>Geodatabase</i>	»	166
4.2.2.	Definizione e creazione degli oggetti del <i>Personal Geodatabase</i>	»	166
4.2.2.1.	Il <i>Feature Dataset</i>	»	166
4.2.2.2.	Le <i>Feature Class</i>	»	169
4.2.2.3.	Le tabelle	»	174
4.3.	Popolamento del <i>Geodatabase</i>	»	176
4.3.1.	Inserimento di dati esterni in un <i>Geodatabase</i>	»	176
4.3.2.	Definizione dei domini degli attributi	»	181
4.4.	Analisi delle relazioni esistenti nel <i>Geodatabase</i> <i>gdb_consortio</i>	»	185
4.5.	La digitalizzazione in <i>ArcView 9</i>	»	193
4.5.1.	Introduzione: il concetto di digitalizzazione	»	193
4.5.2.	Metodologie di digitalizzazione	»	193
4.5.3.	Acquisizione della parte geometrica e di quella alfanumerica	»	194

4.5.4. Gli errori di digitalizzazione	»	195
4.5.5. Lo <i>Snap</i> : strumento per minimizzare gli errori	»	198
4.5.6. Gli strumenti base di <i>ArcView 9</i> per la digitalizzazione	»	198
4.5.7. Digitalizzazione di <i>Feature Class</i> puntuali	»	203
4.5.8. Creazione di <i>Feature Class</i> puntuali da dati tabellari	»	207
4.5.9. Digitalizzazione di <i>Feature Class</i> lineari	»	210
4.5.10. Digitalizzazione di <i>Feature Class</i> poligonali	»	215
4.5.11. Editing di <i>Feature Class</i> esistenti	»	221
4.5.11.1. Spezzare una linea (<i>split</i>)	»	221
4.5.11.2. Rimodellare una linea o un poligono	»	222
4.5.11.3. Aggiungere, cancellare o muovere i vertici di una linea o di un poligono	»	223
4.6. Risultati degli esercizi	»	225
5. La selezione dei dati geografici		
5.1. Interrogare le basi di dati geografiche	»	227
5.1.1. Le <i>query</i> sugli attributi	»	227
5.1.2. <i>Query</i> spaziali	»	228
5.2. Le <i>query</i> sugli attributi in <i>ArcView 9</i>	»	229
5.2.1. Esercizi: <i>query</i> semplici sugli attributi	»	233
5.2.2. Esercizio: <i>query</i> multiple sugli attributi	»	237
Esempio n. 1	»	238
Esempio n. 2	»	239
5.3. Le <i>query</i> spaziali in <i>ArcView 9</i>	»	241
5.3.1. Esercizi: <i>query</i> spaziali	»	245
5.3.1.1. Preparazione dei dati	»	245
5.3.1.2. Selezione sulla base di elementi che intersecano	»	246
5.3.1.3. Selezione sulla base della distanza fra elementi	»	249
5.3.1.4. Selezione sulla base di elementi che contengono	»	251
5.3.1.5. Selezione sulla base di elementi che sono contenuti	»	251
5.3.1.6. Esercizi riepilogativi	»	253
5.4. Soluzioni degli esercizi	»	256
6. L'elaborazione dei dati vettoriali: il <i>geoprocessing</i>		
6.1. Il <i>geoprocessing</i> come insieme di funzioni ed operatori per la trasformazione dei dati	»	259
6.2. Il <i>geoprocessing</i> in <i>ArcView 9</i>	»	261
6.3. <i>Dissolve</i> , <i>Append</i> e <i>Clip</i>	»	263
6.3.1. Principi ed utilizzo della funzione <i>Dissolve</i>	»	263
6.3.2. La funzione <i>Dissolve</i> in <i>ArcView 9</i>	»	264
6.3.3. Esercizi sulla funzione <i>Dissolve</i>	»	266
6.3.4. Principi ed utilizzo della funzione <i>Append</i>	»	269
6.3.5. La funzione <i>Append</i> in <i>ArcView 9</i>	»	270
6.3.6. Esercizio sulla funzione <i>Append</i>	»	271
6.3.7. Principi ed utilizzo della funzione <i>Clip</i>	»	274
6.3.8. La funzione <i>Clip</i> in <i>ArcView 9</i>	»	274
6.3.9. Esercizio sulla funzione <i>Clip</i>	»	275
6.4. <i>Buffer</i>	»	279
6.4.1. Principi ed utilizzo della funzione <i>Buffer</i>	»	279
6.4.2. La funzione <i>Buffer</i> in <i>ArcView 9</i>	»	280
6.4.3. Esercizio sulla funzione <i>Buffer</i>	»	283

6.5.	<i>Overlay</i> topologico: intersezione ed unione	»	288
6.5.1.	Principi ed utilizzo degli operatori di intersezione ed unione.....	»	288
6.5.2.	Le funzioni di <i>Overlay</i> in <i>ArcView 9</i>	»	289
6.5.3.	Esercizi sulle funzioni di <i>Overlay</i> topologico	»	292
6.5.3.1.	Intersezione: punti su poligoni	»	293
6.5.3.2.	Intersezione: linee su poligoni	»	293
6.5.3.3.	Intersezione: poligoni su poligoni	»	299
6.5.3.4.	Unione: poligoni su poligoni	»	305
6.6.	Esercizio riepilogativo	»	308
6.6.1.	Risoluzione di un problema di analisi GIS con l'uso del <i>geoprocessing</i>	»	308
6.6.2.	Trasferimento degli attributi geologici	»	311
6.6.3.	Creazione dell'area di tutela assoluta e della zona di rispetto	»	312
6.6.4.	Riduzione dell'area di tutela assoluta e della zona di rispetto alla sola area del consorzio	»	313
6.6.5.	Classificazione dei dati	»	314

7. L'elaborazione dei dati *raster*

7.1.	Introduzione	»	317
7.2.	Creazione del TIN come modello altimetrico del territorio	»	317
7.3.	Creazione del modello digitale del terreno (DTM)	»	319
7.4.	Creazione dei <i>layer raster</i> delle pendenze, delle esposizioni e dell'ombreggiatura (HILLSHADE)	»	321
7.4.1.	<i>Raster</i> delle pendenze (SLOPE)	»	321
7.4.2.	<i>Raster</i> dell'esposizione (ASPECT).....	»	322
7.4.3.	<i>Raster</i> dell'ombreggiatura (HILLSHADE).....	»	323
7.5.	Creazione del <i>layer raster</i> della termometria	»	324

8. Analisi di livelli *raster*: la *Map Algebra*

8.1.	Cos'è la <i>Map Algebra</i>	»	327
8.2.	Esempio semplice di sovrapposizione tra due livelli informativi <i>raster</i>	»	328
8.3.	Esempi di sovrapposizione tra più livelli informativi <i>raster</i>	»	335

9. L'allestimento cartografico nei GIS: il *layout*

9.1.	La vestizione dei <i>layer</i>	»	347
9.2.	Impostazione del <i>layout</i>	»	355

Bibliografia	»	365
---------------------------	---	-----

Premessa

Un Sistema Informativo Geografico (abbreviato GIS, acronimo del termine inglese *Geographic Information System*) è uno strumento che permette la gestione e l'elaborazione di grandi quantità di dati riferibili ad elementi, eventi o fenomeni localizzati sulla superficie terrestre. Un GIS possiede le proprietà tipiche di archiviazione e recupero dati di un sistema di gestione di database tradizionale, affiancate dalle capacità, proprie dei CAD, di disegno e visualizzazione di elementi geometrici riferibili ad oggetti del mondo reale. Inoltre, un GIS è in grado, attraverso strumenti suoi propri, che lo differenziano da altri sistemi informativi, di elaborare e trasformare i dati (geografici e non) archiviati al suo interno, per estrarre informazioni indispensabile nei processi decisionali.

Tali sono le motivazioni per cui i Sistemi Informativi Geografici sono diventati strumenti di enorme utilità per tutti quelli che operano a diretto contatto con il territorio e le sue problematiche: la possibilità di acquisire dati, visualizzarli, interrogarli ed elaborarne i risultati, ha dato a tali operatori una valida base per lavoro di valutazione e di pianificazione territoriale, al fine di limitare l'incontrollato sfruttamento delle risorse naturali.

Sia che si debba localizzare una nuova attività strategica, individuare il suolo migliore per coltivare una determinata specie vegetale, trovare il percorso ottimale per un veicolo d'emergenza o risolvere un qualunque problema che presenti almeno una componente riconducibile allo spazio geografico, uno strumento GIS offre la possibilità di integrare dati diversi per ottenere informazioni, simulare scenari sulla base di particolari elaborazioni o modelli, proporre soluzioni efficaci alle problematiche attraverso la creazione di documenti di sintesi come le mappe tematiche.

La teoria alla base dei Sistemi Informativi Geografici viene insegnata oggi soprattutto nelle università, in numerosi dipartimenti delle facoltà scientifiche e sempre più diffusamente anche in alcune di quelle umanistiche. Aumenta inoltre il numero dei professionisti che possono acquisire strumenti e metodi per produrre in proprio ed utilizzare cartografia numerica: geologi, agronomi, forestali, biologi e naturalisti, ingegneri ambientali e civili, architetti, archeologi, geometri sono le figure professionali che utilizzano tali sistemi. Poiché attraverso la rete Internet è possibile accedere al sito dei produttori di *software* e dei principali gruppi di sviluppo ed uso di *software GIS open source* (a codice libero), sempre più frequentemente viene richiesta la formazione specifica, di aggiornamento e specializzazione.

Per tali motivi, si è formata a Firenze l'Associazione Culturale GISland.it che, nel quadro del suo fine sociale di divulgazione della conoscenza nel campo dei Sistemi

Informativi Geografici, organizza numerosi corsi e seminari di formazione e aggiornamento presso la sua sede di Firenze e in altre città (<http://www.gisland.it>).

Questo manuale prende spunto dalle dispense prodotte per i vari corsi di GISLand.it, sia per quanto riguarda la parte teorica, che per quella pratica: in particolare il libro ripropone la metodologia usata all'interno dei corsi per lo svolgimento delle esercitazioni, riportando tutti i passaggi necessari per la corretta esecuzione degli esercizi proposti, così da agevolare il lettore fornendo un percorso guidato per il loro svolgimento.

LA maggior parte dei dati forniti nel CD allegato a questo testo, da utilizzare per gli esercizi, sono stati prodotti dall'ufficio SIT del comune di Lastra a Signa (FI) nell'ambito della redazione del suo Piano Strutturale (<http://www.comune.lastra-a-signa.fi.it/urbanistica/pianostrutturale>) e gentilmente messi a disposizione. Sono presenti anche dati prodotti dalla Regione Toscana e in particolare quattro sezioni in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale fornita dal Servizio Geografico della Regione Toscana – Archivio Cartografico, Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali (www.geografia.toscana.it).

Per lo svolgimento delle esercitazioni viene proposto l'uso del *software ArcView 9*: una versione demo, avente validità di 60 giorni, completa di tutte le funzionalità, può essere richiesta alla casa produttrice ESRI (www.esri.com) oppure al partner italiano ESRI Italia (<http://www.esriitalia.it>). Nomi, marchi e videate presenti e citati nel volume sono depositati e registrati dalle rispettive case produttrici. In particolare nomi, marchi, e videate relativi al software *ArcGIS* con licenza *ArcView* utilizzato per gli esercizi di questo libro sono registrati dall'Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) negli Stati Uniti d'America, nell'Unione Europea e in certe altre giurisdizioni.

Una volta compresa la metodologia usata, gli esercizi sono comunque risolvibili con altri *software GIS* aventi funzionalità simili ad *ArcView 9*. Va anche sottolineato che la procedura usata per lo svolgimento dei problemi proposti non è univoca ma rappresenta una delle possibili strade percorribili. Si lascia al lettore l'iniziativa di trovarne delle altre, magari anche più efficaci.

Parte Prima

1. DALLA CARTOGRAFIA TRADIZIONALE AI GIS

1.1. BREVE STORIA DELLA CARTOGRAFIA

Fin dagli albori delle prime civiltà, si è avuta la necessità di registrare i dati geografici, quelli riferiti cioè alla superficie terrestre: inizialmente si è trattato di semplici disegni, come graffiti o pitture rupestri, ma con il passare del tempo si è assistito ad un enorme sviluppo delle conoscenze e delle tecniche di rappresentazione del mondo conosciuto. La cartografia, la topografia e la geografia hanno origini antichissime e la loro storia rappresenta una preziosa testimonianza del passato. La parola latina *charta*, da cui deriva cartografia, proviene dal greco *khártēs* il cui significato è foglio di papiro; furono i greci, infatti, a porsi per primi il problema filosofico e geometrico della raffigurazione della terra, tracciando le prime mappe con un approccio incredibilmente moderno.

I romani, che usavano anche la parola *tabula*¹, ripresero e svilupparono le conoscenze geografiche e cartografiche dell'antica Grecia e, molto più concretamente, fecero uso delle mappe in modo funzionale per tracciare gli elementi spaziali a loro necessari, quali: le strade d'accesso ai territori, il dislocamento delle guarnigioni per la difesa dell'Impero e per le nuove conquiste, le proprietà terriere per il calcolo dei tributi. I primi esperti misuratori furono gli *agrimensores*, progenitori dei topografi.

Si ebbero notevoli sviluppi nell'indagine geografica soprattutto nel mondo arabo, grazie ai viaggi per mare e alla necessità di tracciare le rotte, alla scoperta di nuovi territori e alla necessità di segnarne i confini.

Nel medioevo, fu possibile disegnare una rappresentazione piana del mondo conosciuto, dando luogo alle cosiddette *mappae mundi*², dove la mappa era il tessuto su cui disegnare; le carte venivano per lo più allegate ai testi di geografia e scienze naturali, erano disegnate dagli amanuensi e rese disponibili a re e scienziati.

Se già Greci, Cinesi e Arabi, pensando che la Terra fosse sferica, la rappresentavano su planisferi rotondi, nel mondo cristiano, la Terra veniva rappresentata in forma piatta.

Nel Rinascimento, grazie alle numerose scoperte, la sfericità della terra fu dimostrata e la cartografia iniziò ad avere una più larga diffusione. Grazie all'uso della

¹ La *tabula* era la tavoletta da scrittura e disegno. La *Tabula Peutingeriana* appartiene al genere degli *itineraria* e si può considerare come la più completa testimonianza della cartografia di età romana giunta sino a noi.

² Oggi la parola mappamondo è usata per indicare la cartografia dell'intero globo, e il planisfero indica la proiezione piana della Terra.

bussola e degli altri sistemi di navigazione, fu possibile incrementare la redazione di carte corrette anche da un punto di vista geometrico.

Dal XIX secolo in poi, si iniziò a fare comunemente uso di carte geografiche e da allora si ebbe un notevole sviluppo della cartografia e della topografia, non più riservate solo agli specialisti.

Dalla seconda metà del secolo scorso, i metodi manuali di rilevamento e disegno cartografico sono stati via via sostituiti da metodi informatici: con l'avvento dei GIS³, la tecnologia informatica per l'acquisizione, archiviazione e riproduzione dei dati spaziali ha sostituito integralmente metodi e strumenti tradizionali.

L'interesse per le carte geografiche storiche è però innegabile: la breve storia della cartografia, di seguito illustrata, include l'evoluzione dei sistemi di rappresentazione e proiezione.

1.1.1. Origini della cartografia: dalla Tavoletta di Ga-Sur a Eratostene

La necessità di rappresentare il mondo, spinse le prime popolazioni nomadi a tracciare delle mappe trasportabili e non facilmente deperibili, disegnate su pietra o su legno. Già ai tempi delle civiltà del Vicino e Medio Oriente vi era l'uso di rappresentare, su tavolette d'argilla, i tratti principali di una regione: risale a 2400-2200 anni a.C. una tavoletta raffigurante la regione della Mesopotamia, con l'Eufrate, le montagne a nord e le città rappresentate da un cerchio (figura 1.1).

Si pensa che siano stati gli Antichi Egizi a dare inizio alla geografia moderna: presso il Museo Egizio di Torino è conservata una mappa schematica delle miniere d'oro della Nubia, redatta all'epoca del regno di Ramses IV (1150 a.C.) che diede inizio a un sistematico rilievo del suo impero. Sono state rinvenute iscrizioni sulle mura dei templi e su papiro, che narrano di spedizioni militari, commerci, esplorazioni e viaggi dei Faraoni: Erodoto⁴ narrò del viaggio per mare ordinato dal Faraone Necho intorno al 600 a.C., durante il quale le navi fenicie circumnavigarono l'Africa,



Figura 1.1
Tavoletta di Ga-Sur,
incisione su argilla
scoperta nel 1930
presso l'antica Babilonia

³ GIS è acronimo di *Geographical Information System*, in italiano Sistema Informativo Geografico: sistema, indica l'insieme complesso degli strumenti cartografici e di archiviazione utilizzati, informativo, indica le informazioni contenute nel sistema, geografico si riferisce alla rappresentazione dei dati in coordinate terrestri.

⁴ Erodoto di Alicarnasso svolse la sua attività intorno agli anni 440-425 a.C., intraprendendo numerosi viaggi che allargarono le conoscenze geografiche e scientifiche del tempo: nelle sue Storie, dedicate alla lunga lotta tra Greci e Persiani, incluse notizie sui popoli con i quali era venuto a contatto.

dal Mar Rosso alle Colonne d'Ercole. Si pensa inoltre che gli Egizi possedessero un archivio catastale per far fronte alle inondazioni annuali del Nilo ed ogni volta ritracciare i confini sepolti.

La cartografia nacque, invece, nella Grecia classica grazie al fiorire della matematica e della filosofia. Di molti era, infatti, la convinzione che la geografia fosse una scienza attinente alla filosofia e le dispute fra viaggiatori e filosofi erano all'ordine del giorno. La prima idea della Terra venne espressa da Omero: un disco circolare piatto circondato dalle acque, sotto la cui superficie si trovava la dimora dell'Ade, regno della morte a cui si accedeva dal lago di Averno. Sotto ancora, il Tartaro, regno dell'eterna oscurità e, all'esterno del fiume Oceano, la volta celeste (figura 1.2).

Intorno al 550 a.C. giunse allo stesso risultato lo scienziato Anassimandro di Mileto⁵, che tentò di sintetizzare le conoscenze sulla Terra acquisite fino ad allora, con una mappa del mondo, in cui i confini delle terre emerse erano circoscritti in un cerchio.

Erodoto, con un approccio più sperimentale, rappresentò la parte conosciuta del mondo in una carta piana, l'Ecumene (figura 1.3).

Intorno al 300 a.C. il messinese Dicearco⁶ fece il primo tentativo di misurare le dimensioni della Terra e di costruire una carta geografica con un sistema geometrico, in modo da assicurare una certa precisione nel calcolo delle distanze: Dicearco intravide per primo la necessità di un reticolo di riferimento dividendo la carta del-

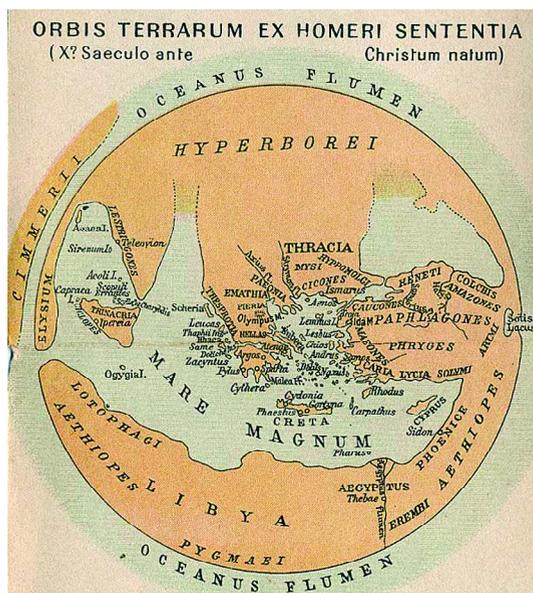


Figura 1.2
La Terra di Omero

⁵ Anassimandro di Mileto, 610-546 a.C., filosofo e scienziato ionico, fu discepolo del matematico Talete.

⁶ Dicearco, 350 e il 290 a.C. ca. fu filosofo e discepolo di Aristotele. Nel V secolo a.C. si era fatta strada la teoria della sfericità della terra (intuita dai Pitagorici, fatta propria da Platone e dimostrata definitivamente da Aristotele con le due prove che sono sempre state adottate anche in seguito – la figura circolare dell'ombra della terra nelle eclissi di luna ed il variare dell'altezza degli astri sull'orizzonte col variare della posizione in latitudine dell'osservatore) ed era stata misurata l'obliquità dell'asse terrestre, era stato stabilito il concetto di equatore, dei poli e dei tropici, con la conseguente divisione della Terra nelle zone climatiche fondamentali. Con la

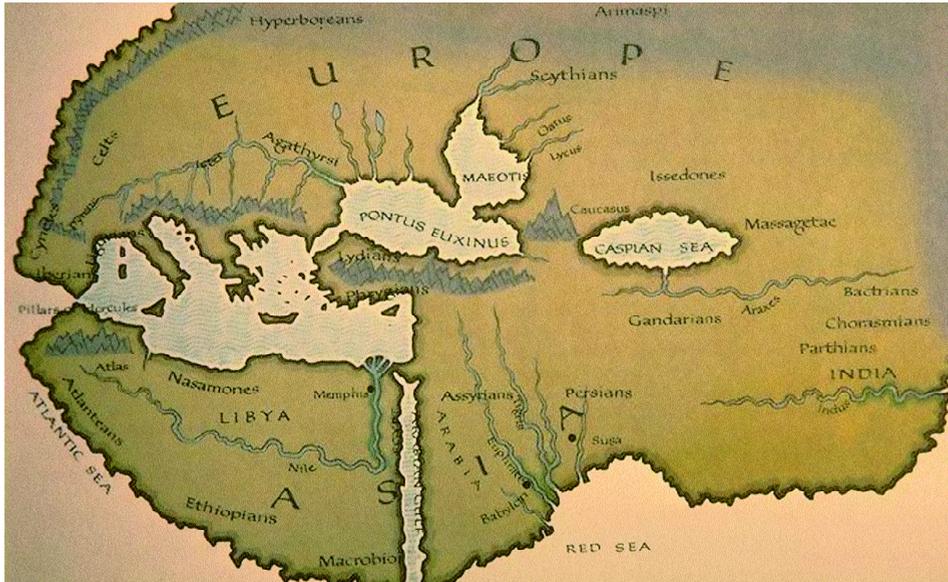


Figura 1.3
Rappresentazione di Erodoto

l'Ecumene per mezzo di due linee, una latitudinale che attraversava per lungo il Mediterraneo, da ovest (Gibilterra) a est (Rodi, prolungandosi fino alla Persia), ed una perpendicolare ad essa.

Dividendo le due linee in stadi, unità di misura dell'epoca, generò un reticolo sul quale era facile riportare le distanze fino ad allora conosciute (figura 1.4).

Successivamente, Eratostene⁷ perfezionò la Carta di Dicearco estendendone i confini: le conquiste di Alessandro Magno permisero ad Eratostene di progredire enormemente, tanto che lo si ritiene padre della geografia scientifica; il più grande dei meriti che gli vengono attribuiti è la straordinaria precisione della sua misura della circonferenza terrestre. Dopo aver risolto il problema fondamentale della dimensione della Terra, Eratostene passò a considerare la dimensione del mondo abitato: la carta di Eratostene oltre a mostrare linee orizzontali e verticali che rappresentavano il primo tentativo di costruire un reticolato geografico, raffigura una porzione di superficie terrestre molto più ampia specialmente in senso longitudinale rispetto a tutte le precedenti (figura 1.5).

scomparsa di Aristotele, tutto quello che la scuola filosofica aveva elaborato venne trascritto e completato da Dicearco da Messina, il quale realizzò tra le altre opere: la prima, Circonferenza della Terra, con il calcolo del meridiano in 300 stadi, pari a 55.000 km, ed un sistema di coordinate cartografiche basate su linee ortogonali, meridiani e paralleli, la seconda Trigonometrica e Topografica nella quale appare la misurazione dell'altezza delle montagne della Grecia, con risultati non troppo distanti dal vero.

⁷ Eratostene di Cirene, 276-195 a.C., matematico ed astronomo, scrisse la prima grande opera che porta il nome di Geografica, in cui vengono trattate la forma e dimensione della terra, le tecniche per la costruzione delle carte, la descrizione di paesi e popoli. Da quel momento in poi filosofi e scienziati scrissero trattati e opere nei vari settori tenendo conto della distribuzione geografica delle loro osservazioni ambientali.

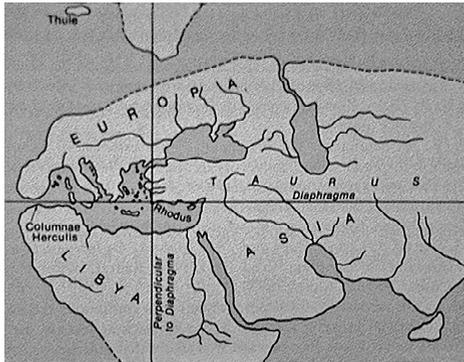


Figura 1.4
Carta di Dicearco

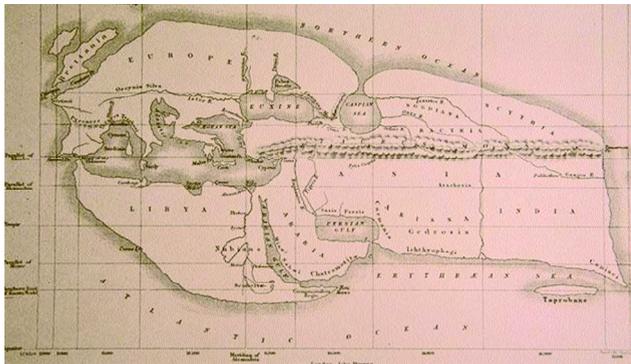


Figura 1.5
Carta di Eratostene

1.1.2. Da Tolomeo a Mercatore

I romani contribuirono allo sviluppo della cartografia in maniera determinante: le campagne militari che condussero alla realizzazione dell'Impero portarono nuove conoscenze, soprattutto nei territori interni; sotto Augusto, il lavoro di riordinamento e sistemazione dell'Impero Romano, favorì la realizzazione di descrizioni ufficiali delle province, dei catasti e di quant'altro fosse utile a fini pratici; fu proprio la finalità pratica che distinse e caratterizzò la geografia in quest'epoca.

L'opera di maggior valore cartografico fu senz'altro quella di Claudio Tolomeo⁸: la sua carta del mondo fu realizzata nel II secolo d.C. utilizzando una vera e propria proiezione, nella quale, la posizione dei luoghi, fu determinata in base alla loro longitudine e latitudine (introdotta da Dicearco da Messina).

⁸ Claudio Tolomeo, 100-178 d.C., astronomo e matematico, propose una teoria: assumendo la Terra immobile al centro dell'universo, egli descriveva i moti e le posizioni dei pianeti, del Sole e della Luna su uno sfondo di stelle fisse; elaborato sulla base dei dati raccolti dai suoi predecessori, il sistema tolemaico prevedeva che i corpi celesti, quali la Luna, Mercurio, Venere, il Sole, Marte, Giove e Saturno, ruotassero intorno alla terra percorrendo orbite perfettamente circolari; Tolomeo, anticipando lo studio della trigonometria, applicò le sue teorie alla costruzione di astrolabi e di meridiani. Il sistema tolemaico, elaborato con la complessa teoria degli epicicli, poteva giustificare la maggior parte delle osservazioni astronomiche dell'epoca, ma faceva ricorso a procedimenti geometrici estranei ai postulati della matematica tradizionale; fu questo uno dei motivi che, nel corso XVI secolo, portò l'astronomo polacco Niccolò Copernico a rifiutare il sistema geocentrico proposto da Tolomeo, e ad enunciare la rivoluzionaria teoria eliocentrica.

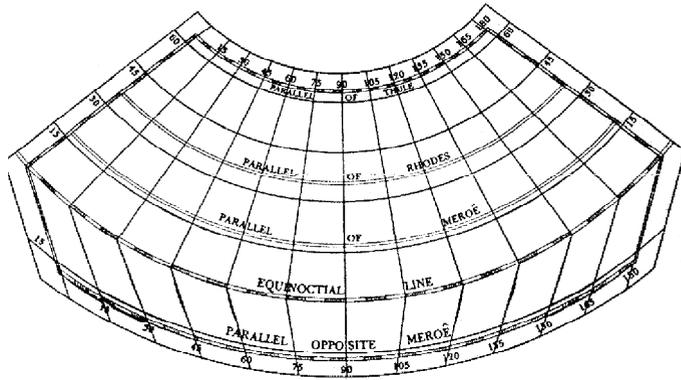


Figura 1.6
Proiezione conica
di Tolomeo

L'approccio scientifico appare in una delle sue maggiori opere, chiamata il *Geographia*, dove sono indicati gli obblighi del costruttore di mappe, la valutazione dei dati ed i preparativi per il disegno; le istruzioni su ciò che ogni mappa dovrebbe mostrare diventeranno fondamentali per i cartografi (vedi capitolo 9 della seconda parte).

Per evitare gli errori delle cartografie precedenti, Tolomeo propose di proiettare i punti della sfera terrestre su una superficie conica, tangente alla superficie stessa, con asse coincidente all'asse terrestre (figura 1.6).

Durante il medioevo la geografia tolemaica fu comunque ignorata e la cartografia conobbe un periodo di regressione a causa della dottrina cristiana, ad eccezione delle carte prodotte in Medio ed Estremo Oriente ad opera di Arabi e Cinesi.

Le conoscenze geografico-astronomiche del periodo classico subirono un generale oscuramento, la produzione di cartografia fu scarsa, in gran parte eseguita da monaci o ecclesiastici che non ammettevano la sfericità terrestre. Tuttavia, difficilmente la biblioteca di un monastero o di un nobile era sprovvista di carte geografiche: molti cataloghi di biblioteche medioevali fanno menzione di mappae mundi, mappe della Terra Santa e mappe per la navigazione.

Le carte della tradizione monastica servivano principalmente per l'illustrazione di testi e di questo periodo è la mappa dell'Anonimo Ravennate⁹ (figura 1.7).

Anche gli Arabi familiarizzarono con il *Geographia* di Tolomeo, sulla base del quale rifece le loro mappe, attenendosi alle sue specifiche istruzioni. Nel XII secolo la cartografia ricevette notevoli impulsi dall'arabo Abu Abd Mhammad, meglio conosciuto con il nome di Idrisi¹⁰, che lavorò a Palermo presso la corte del Re Ruggero II, dove la geografia iniziò a svilupparsi sulla base di conoscenze dirette e precise piuttosto che su concetti immaginari e convinzioni religiose.

⁹ L'Anonimo Ravennate fu nel medioevo sacerdote e geografo, autore di numerose cronache, scritti, itinerari; descrisse nella sua opera, intitolata *Cosmographia*, numerose località italiane permettendone oggi la collocazione, sulla base dei toponimi antichi; l'opera, dai molti dati interessanti sull'area del Mediterraneo nel periodo di transizione dall'antichità al primo medioevo, si basa sulla catalogazione di fonti storiche come la *Tabula Peutingeriana*.

¹⁰ Idrisi è oggi anche il nome di un *software* GIS e Image Processing, sviluppato dalla Clark University MA USA. Il vero Idrisi nacque nel 1099 a Ceuta nell'odierna Spagna, viaggiò molto per i suoi studi e si stabilì alla corte normanna di Palermo; le sue opere furono tradotte in latino ed i suoi libri rimasero famosi per molti secoli sia in Oriente che in Occidente.



Figura 1.7
 Mappa dell'Anonimo
 Ravennate

Palermo era divenuta uno dei punti di incontro più celebrati di viaggiatori, mercanti, pellegrini, crociati e studiosi: qui Idrisi compilò un insieme organico di informazioni geografiche, integrato da una carta geografica riassuntiva, pubblicata nel libro dal titolo “La delizia di colui che desidera viaggiare”, che conteneva le coordinate di un gran numero di località, le distanze tra di esse e la loro distribuzione secondo le zone climatiche. Il libro venne considerato l’opera geografica più completa e dettagliata apparsa in Europa fino ad allora (figura 1.8).

La scienza, dopo la pausa imposta nel Medioevo, venne rivitalizzata tra il XV e XVI secolo con le spedizioni di navigatori: Colombo, Vespucci, Magellano, Caboto, grazie all’uso dei nuovi strumenti nautici, contribuirono in maniera determinante al perfezionamento delle proiezioni geografiche. Da allora in poi, la maggiore facilità di movimento, permise lo scambio di esperienze e di tecniche per la rappresentazione delle nuove scoperte ed esplorazioni, tanto che, intorno alla prima metà del XVI secolo si abbandonarono le vecchie carte tolemaiche.

L’epoca delle scoperte aveva permesso di definire le posizioni relative delle masse terrestri e oceaniche dando la possibilità di creare, in via definitiva, la rappresentazione cartografica complessiva della Terra (figura 1.9).

Il cinquecento può essere considerato il secolo d’oro della cartografia e della geografia: la loro maggior diffusione avvenne in seguito all’invenzione della stampa per merito di Johann Gutenberg, che già nel 1450 aveva riprodotto mappe su carta, mediante incisioni su legno o su rame.



Figura 1.8
Planisfero di Idrisi

Ma la vera rivoluzione si ebbe con i cartografi olandesi Gemma Frisius¹¹ e Gerardo Mercatore¹² che segnarono una nuova tappa nelle cartografia adottando metodi matematici. In particolare, Mercatore utilizzò una proiezione cilindrica diretta, che risulta dallo sviluppo su un piano di un cilindro tangente all'Equatore, con asse coincidente con l'asse polare (figura 1.11). La sua originale idea fu modificata nell'800 dal professor Gauss in una proiezione cilindrica trasversa ed è tuttora utilizzata e conosciuta come proiezione di Gauss. Essa è anche detta Trasversa di Mercatore, ma è in tal modo erroneamente attribuita al cartografo olandese. La principale caratteristica della rappresentazione cilindrica è che i meridiani e i paralleli sono delle linee rette perpendicolari, ed essa risulta particolarmente adatta alla navigazione perché rappresenta la rotta lossodromica¹³ in linea retta.

Se nell'antichità greco-romana la guida tipica per la navigazione era stato il peri-

¹¹ Gemma Frisius, 1505-?, si era dedicato alla cosmografia matematica e alla produzione di mappe e strumentazione geodetica e nautica; nel corso del XVII secolo Amsterdam divenne il centro editoriale per la pubblicazione degli atlanti anche grazie al sostegno economico da parte della V.O.C., Compagnia delle Indie Orientali, e della W.I.C., Compagnia delle Indie Occidentali.

¹² Gerardo Mercatore, 1512-1594, nato a Rupelmonde nelle Fiandre, filosofo e teologo allievo di Frisius, si dedicò allo studio della matematica e dell'astronomia; fra le altre pubblicò una piccola mappa del mondo in proiezione a doppio cuore, molte nuove carte e mappamondi e la sua grande mappa d'Europa.

¹³ La curva lossodromica mantiene sempre lo stesso angolo rispetto ai meridiani, la linea ortodromica è invece la linea più breve che congiunge due punti; a causa della convergenza dei meridiani verso i poli, la lossodromica (quando non coincide con un parallelo o con un meridiano) è costituita da una curva che si sviluppa a spirale; la carta di Mercatore, rappresentando con una retta la linea lossodromica, risulta particolarmente adatta alla navigazione: i requisiti di cui deve godere una carta nautica sono infatti quelli della rettificazione delle lossodromie e dell'isogonismo (conservazione degli angoli).

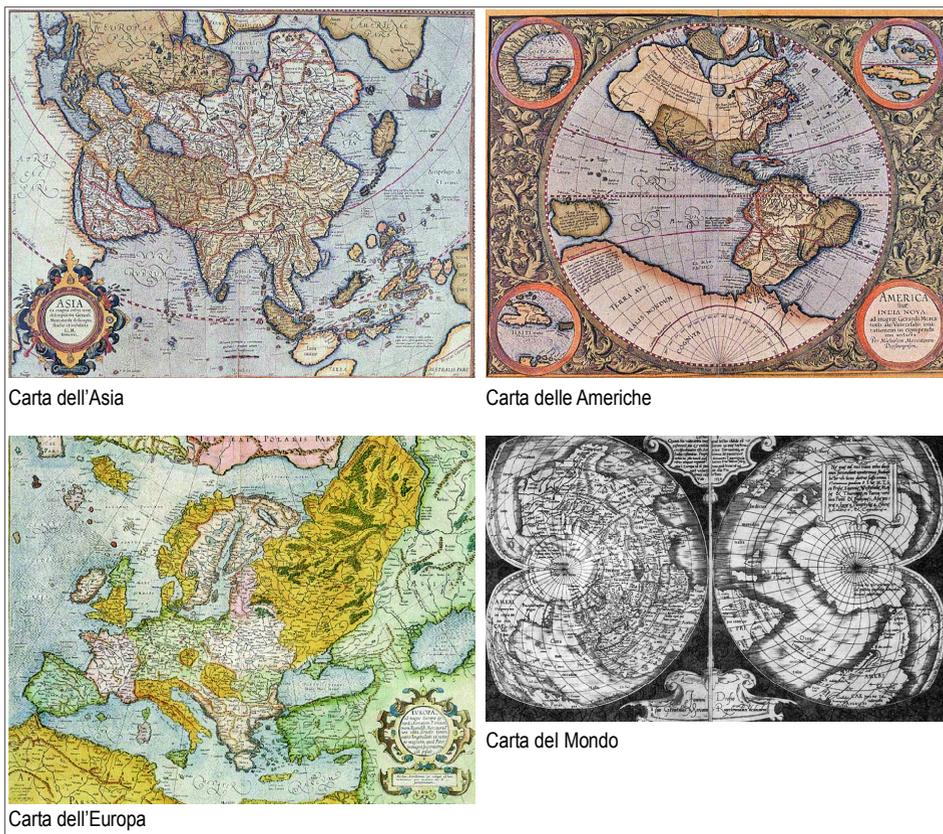


Figura 1.11
Carte di Mercatore

Lo sviluppo precedente al 1500 di cartografia per la navigazione, che si era avuto inizialmente nel Mediterraneo, con l'uso della bussola magnetica, ed in seguito grazie anche alle prime navigazioni oceaniche, non contemplava però il problema delle deformazioni che nascevano dal trasporre su superfici piane i punti di superfici sferiche, mai risolto prima di Mercatore.

1.1.3. Dal 1600 al 1900

Dal XVII secolo in poi dalla geografia nacquero nuove scienze specialistiche con lo scopo di approfondire e descriverne i particolari aspetti: la geodesia, per studiare forma e dimensioni della Terra, la geologia¹⁵ e la geomorfologia, per descrivere la natura dei terreni del sottosuolo e le forme del rilievo.

¹⁵ In *The Map that changed the World*, scritto nel 2001 da Simon Winchester, si racconta della prima mappa geologica disegnata dall'inglese William Smith (1769-1839), ingegnere addetto alla supervisione dell'escavazioni dei canali per il trasporto di carbone, che compilò quella che fu la prima carta geologica dell'Inghilterra, del Galles e di parte della Scozia.

Tra la fine del 1600 e il 1700 si può far iniziare l'era della cartografia moderna quando furono date la definizione dell'ellissoide terrestre e la determinazione astronomica delle coordinate geografiche; sulla base di queste iniziarono i rilievi topografici con il nuovo metodo di proiezione di Mercatore.

Tra il XVII e il XVIII secolo erano comparsi i cabrei¹⁶ per rilievi in ambito locale, ma si andava sempre più estendendo la necessità di creare carte topografiche a scala regionale.

Con lo sviluppo degli strumenti ottici, l'olandese W. Snellius diede inizio al sistema della triangolazione: si cominciarono allora ad eseguire lavori topografici di una certa importanza come la prima carta topografica della Francia (alla scala 1:86.400) iniziata nel 1744 da C.F. Cassini¹⁷, basata su triangolazioni e misure geodetiche dove i punti principali (fiduciali) venivano rilevati geometricamente.

Nel 1800 la geografia entrò ufficialmente tra gli insegnamenti universitari e furono diversi gli Stati che cominciarono a preparare rappresentazioni cartografiche a media e piccola scala del proprio territorio. I progressi ottenuti nel secolo precedente furono messi pienamente a frutto: la quasi totalità degli Stati europei e i neonati Stati Uniti d'America, si dotarono di carte topografiche, i cui rilevamenti furono eseguiti da enti appositamente preposti, per la maggior parte militari.

Il novecento vide l'ulteriore sviluppo delle tecniche di rilevamento per la produzione di carte topografiche e geografiche sempre più precise; grazie ai continui approfondimenti nei vari campi di analisi, la geografia entrò in relazione con i fenomeni fisici, biologici ed antropici e, con l'osservazione sistematica dei rilievi terrestri, la produzione cartografica si arricchì di nuove carte tematiche, di tipo geologico, agronomico, forestale, pedologico, ecc. Con l'analisi statistica, importata dalla matematica, si poté interpolare la variazione spaziale dei fenomeni costruendo superfici continue per rappresentare, ad esempio, le carte meteorologiche (isobare e isoiete), le carte idrogeologiche (isopiezometriche), le carte dell'altimetria (isolinee) e tutti quei fenomeni e grandezze rappresentabili con una continuità spaziale.

1.1.4. La cartografia diventa numerica

Nella seconda metà degli anni '60, un gruppo di informatici statunitensi si dedicò alla realizzazione del primo *software* di elaborazione dei dati geografici: era un programma di tipo CAD (*Computer Aided Design*), ancora oggi ampiamente utilizzato per il disegno tecnico. Tale strumento, anche se di grandissima utilità e diffusione,

¹⁶ Cabreo: mappa descrittiva che riporta i limiti delle proprietà, i nomi dei confinanti, la colorazione dei campi coltivati o dei pascoli, le strade poderali, i sentieri, i corsi d'acqua, l'estensione dei boschi con la descrizione delle alberature; spesso il cabreo è ulteriormente arricchito dalla presenza della rosa dei venti o dai punti cardinali: T [tramontana] nord, M [mezzogiorno] sud, P [ponente] ovest e L [levante] est.

¹⁷ C.F. Cassini, 1714-1784, nato da una famiglia di astronomi e topografi, proseguì il lavoro iniziato dal padre per la misura della lunghezza del meridiano e diede il via alla formazione della rete geodetica, materializzando i diversi vertici trigonometrici: cime, campanili, torri, ecc. La proiezione di Cassini-Soldner è ancor oggi utilizzata per il catasto italiano.

non era però ancora sufficiente alle nuove e sempre più raffinate esigenze delle analisi e rappresentazioni geografiche e cartografiche.

Nuovi e stimolanti sviluppi nella ricerca informatica applicata alla geografia si ebbero con l'introduzione dei database geografici e con la correlazione geometrica tra gli oggetti (topologia). Il passaggio evolutivo da CAD a GIS divenne allora inevitabile: la cartografia non era più solo rivolta ad indicare con sempre maggiore precisione la localizzazione e la forma degli oggetti sul territorio, bensì doveva delineare le caratteristiche ed i fenomeni, le loro correlazioni, le leggi che regolano i fenomeni stessi.

Il passaggio dalla cartografia tradizionale alla cartografia GIS comportò innegabili vantaggi, sia per la possibilità di memorizzare grandi quantità di dati, sia per la velocità di acquisizione ed elaborazione, sia per la possibilità di editing frequenti. Da quel momento in poi furono studiati programmi per elaborazioni sempre più evolute, quali la rappresentazione cartografica bidimensionale e tridimensionale, la georeferenziazione e la conversione delle coordinate da un sistema di proiezione all'altro, l'interrogazione, la visualizzazione e la modifica dei dati geografici.

I metodi d'indagine più recenti, tra cui il telerilevamento¹⁸ e il GPS (*Global Positioning System*) hanno inoltre dato la possibilità di studiare vaste aree della superficie terrestre con un dettaglio mai raggiunto prima (figura 1.12).

Lo sviluppo dei Sistemi Informativi Geografici ha creato nuovi metodi di analisi, che integrano le informazioni derivanti da immagini satellitari, carte tradizionali e dati rilevati sul terreno; a sua volta il telerilevamento ha avuto un ruolo importante nell'evoluzione dei GIS, in quanto permette non solo di generare cartografie numeriche ma di mantenerle anche costantemente aggiornate.

Da allora, la richiesta di dati spaziali ha avuto un'enorme accelerazione andando ad interessare tutti i settori, come ad esempio:

- le scienze ambientali e la gestione delle risorse naturali;
- l'urbanistica e la pianificazione del territorio;
- la medicina e l'epidemiologia, per la diffusione e l'incidenza delle malattie;
- i servizi e la gestione delle infrastrutture, come i sistemi di trasporto e di distribuzione di acqua, gas, elettricità, telefono, fognature;
- la protezione civile, per la localizzazione degli incendi e degli eventi calamitosi;
- lo studio e la gestione dei beni monumentali ed archeologici;
- il commercio e l'individuazione dei potenziali mercati e molti altri.

Le categorie elencate si trovano a dover soddisfare tre principali esigenze:

- quali e quante sono le risorse a disposizione;
- come sono distribuite le risorse sul territorio;
- come queste risorse possono essere usate e gestite.

Si devono poter realizzare quindi delle carte in cui, oltre agli elementi di base del territorio come città, strade e fiumi, tracciabili facilmente tramite **punti** o **linee**,

¹⁸ Telerilevamento: insieme di metodologie e strumenti per lo studio della superficie terrestre e dell'atmosfera che fa uso sensori in grado di rilevare le onde elettromagnetiche emesse o riflesse dagli oggetti; sulla base delle risposte spettrali è possibile ricostruire le caratteristiche fisiche e interpretare la natura degli oggetti osservati.

devono poter essere rappresentati arealmente dei concetti. I concetti di classificazione del territorio vengono chiamati temi, come ad esempio: i tipi di suolo, i litotipi affioranti, le zone urbanistiche, le coperture forestali, che ben si rappresentano con delle aree, o **poligoni**¹⁹. All'interno di ciascun poligono, ognuno colorato in manie-

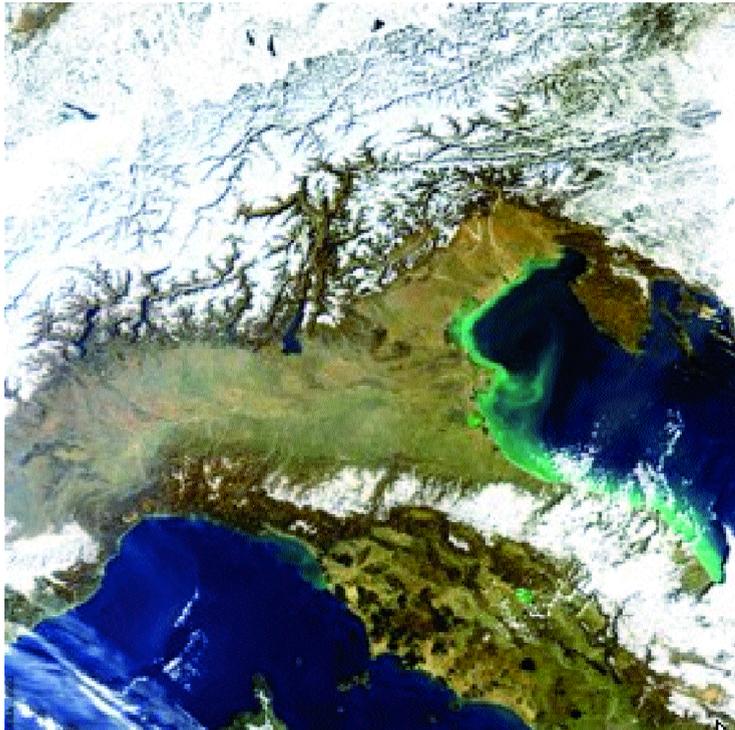


Figura 1.12
Immagine satellitare
del Nord Italia



Figura 1.13
Esempio
di carta tematica
e legenda
di uso del suolo

¹⁹ Punti, linee e poligoni, detti primitive geografiche, sono semplici elementi geometrici usati per rappresentare in un GIS gli oggetti del mondo reale.

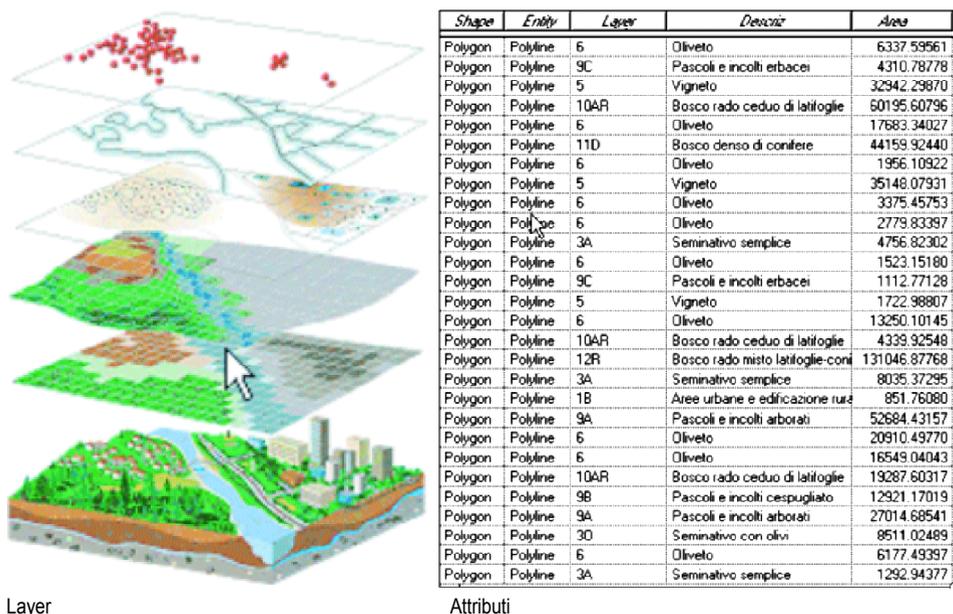


Figura 1.14

Piani o strati informativi

ra diversa, le proprietà del tema sono considerate omogenee; tutte le informazioni²⁰ possono essere rappresentate con diverse simbologie, le legende (figura 1.13).

La natura del dato geografico è duplice: esso è caratterizzato da una *parte spaziale*, che mostra la singolare geometria e la localizzazione nello spazio dei suoi elementi e i rapporti fra di essi, e da una parte non spaziale ma *alfanumerica*, definita come *attributi*, che elenca le altre proprietà del dato. La parte spaziale del dato è rappresentata comunemente da elementi geometrici disposti nello spazio. La parte non spaziale è memorizzata in tabelle costituite da colonne e righe; le diverse tabelle, che contengono i dati relativi ai vari temi che descrivono una certa area, collegate fra di loro, costituiscono la banca dati geografica (chiamata anche *geodatabase*, la cui struttura sarà trattata in dettaglio nel capitolo 3 della prima parte, dedicato ai database). I vari temi sovrapposti sono detti anche *layer* (piani o strati informativi, figura 1.14).

Un Sistema Informativo Geografico deve essere in grado di fornire una serie di risposte a domande precise, affinché possa essere considerato un utile supporto alle decisioni; nello schema seguente si può vedere come un GIS può risolvere vari problemi, anche molto complessi tramite diverse funzionalità.

²⁰ Spesso i due termini **dato** e **informazione** vengono confusi, ma ognuno di essi rappresenta un ben preciso concetto: il dato è una semplice registrazione di fatti, oggetti o fenomeni che sono alla base di ogni ricerca; l'informazione deriva da dati diversi, collegati allo scopo di raggiungere un determinato obiettivo. Possiamo dire che: la banca dati geografica è un insieme di dati, che, presi singolarmente, possono anche non avere un'utilità immediata, ma se considerati nel loro insieme, forniscono un livello superiore d'informazione.

Tabella 1.1

Caso	Funzionalità GIS
Dove si trovano le città d'Italia con più di 100.000 abitanti?	Mostrare la posizione delle entità di tipo A
Qual è la località a me più vicina?	Mostrare la posizione dell'entità A in relazione alla località B
Quanti pozzi o sorgenti si trovano entro i 200 m da un certo corso d'acqua?	Contare il numero di occorrenze delle entità di tipo A che si trovano ad una certa distanza dall'entità di tipo B
Calcolare la pendenza di una certa zona o l'esposizione di un certo versante, a partire da un modello digitale del terreno	Calcolare la funzione f nella posizione X
Calcolare l'area e il perimetro di una particella catastale	Calcolare le dimensioni del poligono C
Calcolare la superficie agricola di un certo Comune	Determinare il risultato dell'intersezione o della sovrapposizione di dati spaziali su layer diversi
Calcolare il percorso più breve X a Y su una rete stradale	Determinare la minore distanza dal punto X al punto Y su una rete lineare
Evidenziare le specie vegetali che stanno entro certe fasce altimetriche in una carta forestale	Elencare gli attributi delle entità localizzate entro determinate coordinate
Quali sono i Comuni confinanti con il Comune "Firenze"?	Determinare quali entità si trovano adiacenti alle entità aventi certi attributi
Suddividere per classi di abitanti le città d'Italia, dando una colorazione diversa ad ogni classe	Riclassificare le entità aventi certe combinazioni di attributi, rappresentandole con una scala di colori
Interpolare o estrapolare dati in zone dove non sono state effettuate misure dirette del valore di una certa variabile	Conoscendo il valore di z ai punti x_1, x_2, \dots, x_n , predire il valore di z ai punti y_1, y_2, \dots, y_n
Raggruppare i Comuni d'Italia per Province e determinare la popolazione provinciale a partire dalla popolazione comunale	Usare metodi numerici di calcolo per derivare nuovi attributi da attributi esistenti
Calcolare la perdita di suolo annuale per un certo terreno coltivato ad una certa coltura agraria	Simulare l'effetto del processo P per un tempo T per un dato scenario S

1.2. STRUTTURA E COMPONENTI DI UN GIS

In base alle caratteristiche che si desidera mettere in evidenza, si possono dare definizioni diverse di Sistema Informativo Geografico. Prendendo spunto da Burrough e McDonnell (1986), un GIS può essere visto principalmente sotto tre diversi punti di vista:

- strumentale: un GIS è un insieme di strumenti per la raccolta, l'archiviazione, la ricerca, la trasformazione e la rappresentazione di dati spaziali provenienti dal mondo reale (Burrough, 1986);
- dell'archiviazione dati: il GIS è una banca dati nella quale la maggior parte delle informazione è spazialmente collegata e sulla quale un insieme di procedure opera in modo da rispondere ad interrogazioni relative alle entità ivi presenti (Smith et al., 1987);
- organizzativo (che può essere considerato come il più completo): un GIS è un insieme automatizzato di funzioni che fornisce ad operatori professionisti le capa-

cità per archiviare, ricercare, manipolare e rappresentare dati determinati geograficamente (Ozemoy et al., 1981).

Considerando quest'ultima definizione che include anche le prime due, si possono individuare quattro principali elementi costituenti un Sistema Informativo Geografico:

- le apparecchiature informatiche, genericamente definite come *hardware*, che forniscono il supporto fisico per l'archiviazione, l'elaborazione, la visualizzazione e la stampa dei dati e dell'informazione derivata;
- i programmi, o *software*, che, funzionando all'interno dei computer, ne agevolano l'utilizzo, facilitando l'utente nell'implementazione delle procedure e delle funzionalità di gestione ed elaborazione dei dati;
- un contesto organizzativo, che include tutto il personale specializzato avente funzione di utilizzo dei *software*, di interpretazione dei dati ed infine decisionale; in questo contesto sono anche incluse tutte le metodologie usate nei vari processi elaborativi;
- un insieme di dati corretti e correlati, senza i quali le tre componenti sopra elencate non hanno senso.

La componente *hardware* di un GIS è rappresentata centralmente da un elaboratore elettronico (*Personal Computer* o *Workstation*) al quale è connessa una serie di periferiche aventi funzione di inserimento (entrata), archiviazione (memorizzazione) o visualizzazione (uscita) dei dati (figura 1.15).

Tipicamente, le periferiche di entrata (*input*) sono la tastiera, il mouse, lo scanner e, oggi ormai desueto, il tavolo digitalizzatore. Tastiera e mouse permettono un inserimento manuale dei dati da parte dell'operatore; lo scanner invece effettua un inserimento semiautomatico, nel senso che l'operatore può fare delle scelte di scansione, ma il processo è automatizzato.

Le periferiche di uscita (*output*) sono: monitor, stampante e plotter: il monitor permette di tenere sotto controllo le operazioni effettuate dal computer e di avere

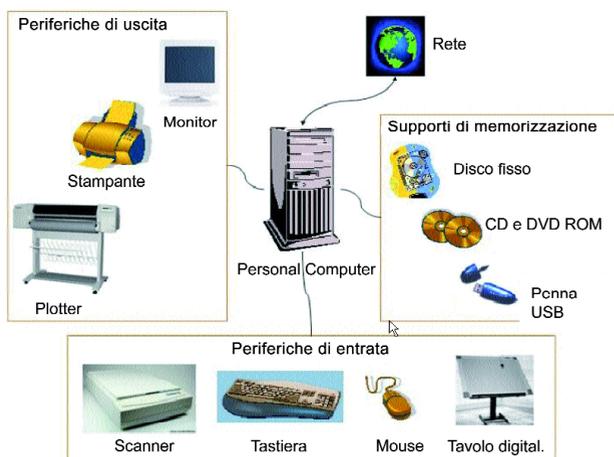


Figura 1.15
Il computer
e le sue periferiche

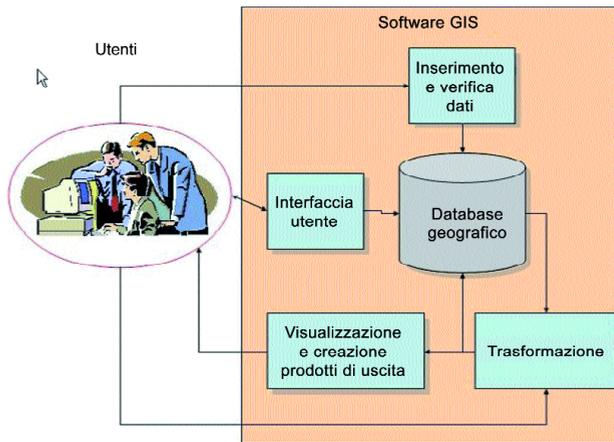


Figura 1.16
Il software GIS

un'anteprima dei prodotti di uscita delle elaborazioni compiute dal sistema. Stampante e plotter sono due periferiche per la stampa di documenti su carta.

Un computer può possedere diverse periferiche di archiviazione dei dati, sia interne che esterne, definite anche come supporti di memorizzazione. Fra di essi, i più comuni attualmente sono i dischi rigidi (*hard disk*), aventi capienza ormai anche fino a qualche Terabyte (2^{40} bytes), i dischi ottici come i *Compact Disk* (CD, fino a 800 Mbytes) o i *Digital Versatile Disk* (DVD, fino a circa 9 Gbytes), oppure le chiavi (o penne) USB le quali possono archiviare qualche Gbyte di dati.

Il *software* comprende in generale uno o più programmi specificatamente realizzati per le funzioni di gestione, elaborazione e presentazione di dati di tipo spaziale e non. Un pacchetto *software* GIS possiederà diverse componenti necessarie a svolgere il suo compito, le quali possono essere schematizzate come in figura 1.16. Esse sono:

- un database geografico con un sistema di gestione appropriato; questa componente assicura che i dati inseriti e memorizzati all'interno del computer siano correttamente organizzati e possano in qualunque momento essere recuperati ed elaborati;
- una interfaccia (grafica) utente che garantisca una facile interazione fra operatore e computer;
- una componente di inserimento e verifica dei dati, con la quale elementi del mondo reale vengono archiviati all'interno del sistema;
- una componente di trasformazione ed analisi dei dati che possieda tutte le funzioni e procedure destinate all'estrazione di informazione utile dai dati grezzi;
- una componente di visualizzazione e di creazione di prodotti di uscita; questa garantisce che sia possibile controllare tutte le operazioni svolte dall'utente e che i risultati di tali operazioni possano essere rappresentati su supporti cartacei per consultazione o presentazione.

Dal punto di vista funzionale, un Sistema Informativo Geografico può essere suddiviso in quattro principali sottosistemi (figura 1.17):

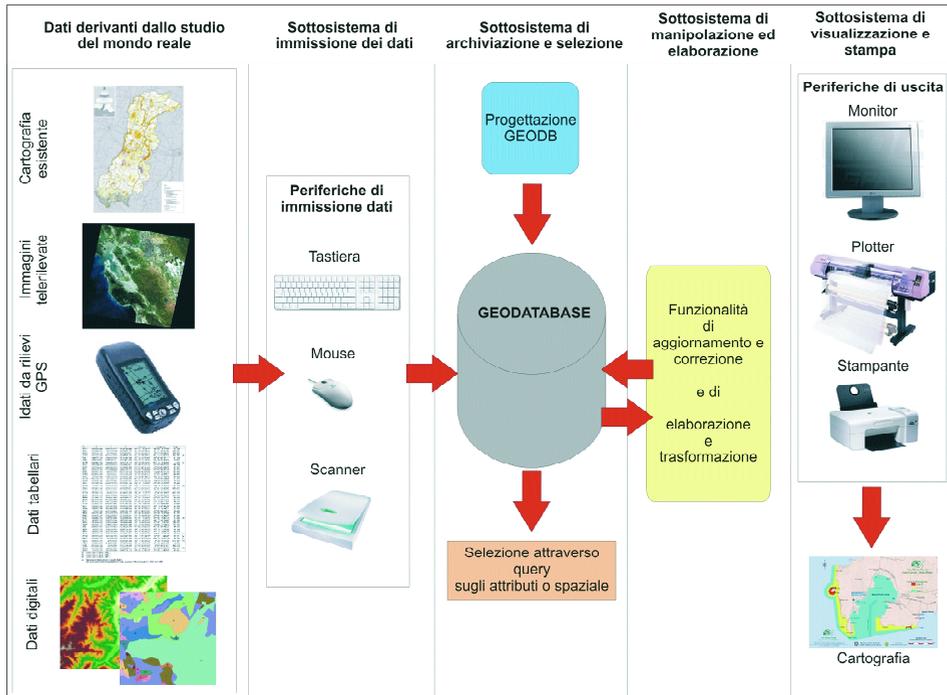


Figura 1.17
Sottosistemi di un GIS

- immissione di dati;
- immagazzinamento e selezione dei dati;
- manipolazione ed elaborazione;
- visualizzazione e stampa.

Il sottosistema di immissione dati si occupa di fornire gli strumenti per trasformare i dati raccolti nel mondo reale in dati digitali all'interno del computer. Esempi di questa trasformazione possono essere: la scansione di una carta tematica per renderla in formato *raster*, la fotointerpretazione di una immagine satellitare tramite digitalizzazione, l'inserimento di coordinate registrate in campo con un GPS. Gli strumenti usati saranno rispettivamente lo scanner, il mouse e la tastiera. Nel capitolo 4 della seconda parte sarà mostrata la procedura di digitalizzazione e di inserimento di dati GPS in *ArcView 9*.

Il sottosistema di immissione dati funziona in stretta connessione con quello di archiviazione e selezione, al cui centro sta il database geografico. Infatti, l'inserimento dei dati in un GIS avviene nel contesto di una struttura di database già definita. In altre parole, ancor prima di procedere all'immissione dei dati, deve essere prevista una fase in cui la struttura di questi dati viene predisposta con estrema precisione. Questa fase è chiamata progettazione del (geo)database e sarà illustrata a livello teorico nel capitolo 3 della prima parte e, a livello pratico attraverso l'uso di *ArcView 9*, nel capitolo 4 della seconda parte. Nel capitolo 4 della prima parte saranno inve-

ce mostrati i diversi modelli di dati usati per archiviare nei GIS gli elementi e i fenomeni del mondo reale.

Nel sottosistema di archiviazione sono previsti anche gli strumenti per la selezione dei dati, ossia per il recupero di essi sulla base di specifiche condizioni imposte dall'utente. Questo particolare aspetto sarà affrontato a livello teorico nel capitolo 3 della prima parte e a livello pratico nel capitolo 5 della seconda parte.

Il sottosistema di manipolazione ed elaborazione comprende le funzionalità proposte a:

- la modifica dei dati, necessaria nel caso si debbano effettuare aggiornamenti o correzioni;
- l'elaborazione dei dati mediante la loro trasformazione, ogni qual volta si vogliono creare dati derivati ed estrarre da essi nuova informazione.

Un tipico esempio può essere rappresentato dalla trasformazione di dati puntuali di altimetria in un modello digitale del terreno attraverso un processo di interpolazione.

Questo sottosistema è tipicamente costituito da alcune specifiche parti del (o dei) *software* GIS. I capitoli 6, 7 e 8 della seconda parte prenderanno in considerazione, dal punto di vista pratico, diverse metodologie di elaborazione dei dati geografici.

Infine, il sottosistema di visualizzazione e stampa fornisce gli strumenti per poter vedere i dati in varie forme (p. es. la parte spaziale e quella alfanumerica) e realizzare prodotti di sintesi, come le carte tematiche, che possano essere stampati e presentati. In questo sottosistema saranno comprese le varie periferiche come il monitor del computer, la stampante, il plotter, ecc., nonché la parte di *software* (non sempre presente) che offre gli strumenti per realizzare prodotti cartografici. Di questo aspetto si occuperà il capitolo 9 della seconda parte.