

Maurizio Trevisani

Cenni sui  
Sistemi Informativi Territoriali  
con appunti di geodesia,  
topografia e cartografia

## Sommario

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>DEFINIZIONE DI SIT</b> .....	<b>1</b>
<b>CARTOGRAFIA</b> .....	<b>4</b>
<b>INFORMATICA</b> .....	<b>5</b>
<b>GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM</b> .....	<b>5</b>
<b>ORGANIZZAZIONE</b> .....	<b>6</b>
<b>L'ESPERIENZA DELLA TOSCANA: LAVORI IN CORSO PER L'ATTIVAZIONE DEL SIT</b> .....	<b>6</b>
UN PO' DI STORIA.....	6
LAVORI IN CORSO .....	8
<b>APPENDICE: CENNI DI GEODESIA, TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA</b> .....	<b>9</b>
PREFAZIONE .....	9
INTRODUZIONE .....	9
GEODESIA.....	9
TOPOGRAFIA.....	16
<i>Fotogrammetria</i> .....	21
CARTOGRAFIA .....	23
<i>Classificazione secondo la scala:</i> .....	24
<i>Classificazione in base al tipo di proiezione</i> .....	26
<i>Classificazione delle proiezioni secondo la forma del reticolato geografico</i> .....	28
<i>Classificazione delle proiezioni secondo le deformazioni introdotte</i> .....	28
<i>Esempi di proiezioni</i> .....	29
<i>Proiezione di Mercatore</i> .....	33
<i>Proiezione trasversa di Mercatore o proiezione di Gauss</i> .....	34
<i>Sistema di rappresentazione cartografica catastale (Cassini-Soldner)</i> .....	36
<i>La rappresentazione di Sanson-Flamsteed o proiezione naturale</i> .....	37
LA CARTOGRAFIA IN ITALIA .....	39
PRODUZIONE DI UNA CARTOGRAFIA.....	42
LETTURA DELLE CARTE .....	47
CARTOGRAFIA NUMERICA E SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI .....	50
CARTOGRAFIA TOPOGRAFICA E CARTOGRAFIA TEMATICA.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	57
ARTICOLI.....	58
<b>APPENDICE: L'INFORMATICA NEI SIT</b> .....	<b>60</b>
PREFAZIONE .....	60
ORGANIZZAZIONE DELLE INFORMAZIONI.....	60
<i>Modello logico e modello fisico</i> .....	60
STANDARD .....	61
STRUMENTAZIONE HW E SW .....	61
<i>Elaboratore</i> .....	61
<i>Periferiche per il data-entry</i> .....	61
<i>Periferiche per il data-publishing</i> .....	61
<i>Ambiente software di base</i> .....	61
<i>Software applicativo</i> .....	61
<b>APPENDICE: I GIS NEI SIT</b> .....	<b>62</b>
PREFAZIONE .....	62
IL GIS.....	64
I DATI GEOGRAFICI.....	65
I MODELLI DI DATI: VECTOR E RASTER .....	65
<i>Vector</i> .....	66

<i>Raster</i> .....	68
FUNZIONALITÀ DI UN GIS .....	69
<i>Data entry and edit</i> .....	69
<i>Data Analysis</i> .....	70
LA FAMIGLIA ESRI .....	79
<i>ARCINFO</i> .....	80
<i>ARCVIEW</i> .....	80

## Introduzione

Scopo di queste note è quello di descrivere alcuni aspetti che sono alla base dell'attivazione di un Sistema Informativo Territoriale.

Per poter efficacemente esporre tali aspetti, appare opportuno dare brevemente una serie di definizioni.

In particolare è opportuno dare una definizione, quella che mi sembra la più adeguata, di Sistema Informativo Territoriale, e quella di Geographical Information System (a cui associo un significato diverso da SIT), individuare il ruolo nel SIT di particolari discipline quali la Cartografia e l'Informatica, ed evidenziare anche gli aspetti organizzativi, fondamentali per l'esistenza del SIT.

## Definizione di SIT

Un Sistema Informativo Territoriale è innanzitutto un Sistema Informativo.

Per comprendere cosa è un Sistema Informativo, bisogna domandarsi perché si parla di "sistema" e perché si parla di "informativo".

Il termine "informativo" ci porta poi a cercare una definizione di informazione, e a cercare di comprendere il rapporto esistente tra "informazione" e "dato".

Infine occorre anche individuare lo scopo per cui si costituisce un Sistema Informativo, in quanto le finalità perseguite hanno un peso enorme nell'indirizzare le scelte che si faranno nelle fasi di acquisizione e strutturazione dei dati.

Una definizione di "sistema" è: "connessione di elementi in un tutto organico e funzionalmente unitario".

Di un sistema siamo quindi interessati a definire gli elementi componenti, la loro organizzazione, e le funzioni per cui è stato ideato e costruito.

"Informativo" indica che è finalizzato a fornire notizie utili o funzionali.

In tal senso "informativo" significa "finalizzato a trasmettere conoscenza circa un determinato fenomeno".

"Informativo" è collegato a "Informazione", e non ad "Informatico", se con "informatico" si intende riferirsi alla "elaborazione automatica dei dati".

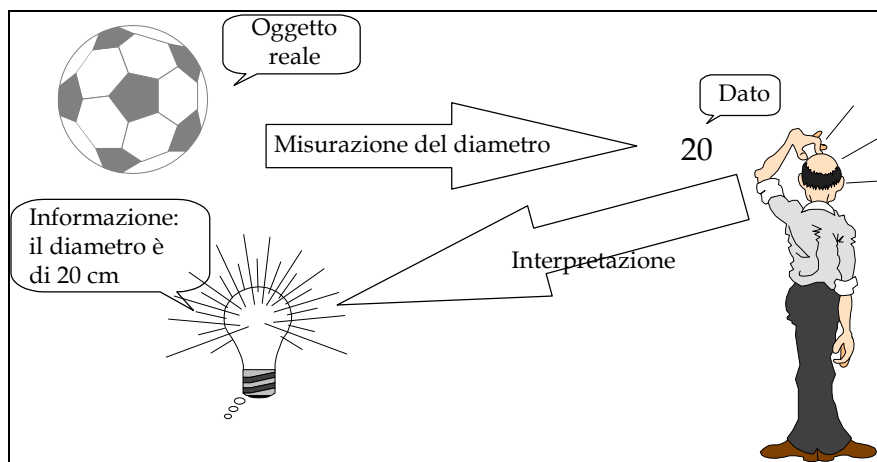
Infatti un sistema informativo può esistere anche senza l'utilizzo di computer: uno schedario può già essere sufficiente a garantire una adeguata organizzazione dei dati, e dunque si può già parlare di "Sistema Informativo".

L'utilizzo di elaboratori elettronici consente semplicemente di svolgere certe attività con maggiore velocità ed efficienza.

In un Sistema Informativo presumibilmente non tutte le informazioni saranno gestite tramite elaboratore, ma solo alcune saranno "informatizzate".

La conoscenza di un certo fenomeno può avvenire tramite la misurazione di alcune grandezze, e la corretta interpretazione di ciascuna misura consente di comprendere un aspetto del fenomeno

Un primo tipo di conoscenza di un fenomeno è quella relativa ad aspetti "misurabili" e quindi "quantificabili".



Per "conoscere" adeguatamente un particolare aspetto "misurabile" del fenomeno che vogliamo descrivere, dovremo quindi adottare una unità di misura ed utilizzare uno strumento che consenta di effettuare la "misurazione".

Posso misurare il diametro di un pallone: la misura risulta essere 20.

Una persona, collegando il dato 20 insieme

all'informazione che tale misura è espressa in centimetri e si riferisce al diametro di un pallone di forma sferica, "conosce" che il pallone ha un diametro di 20 centimetri.

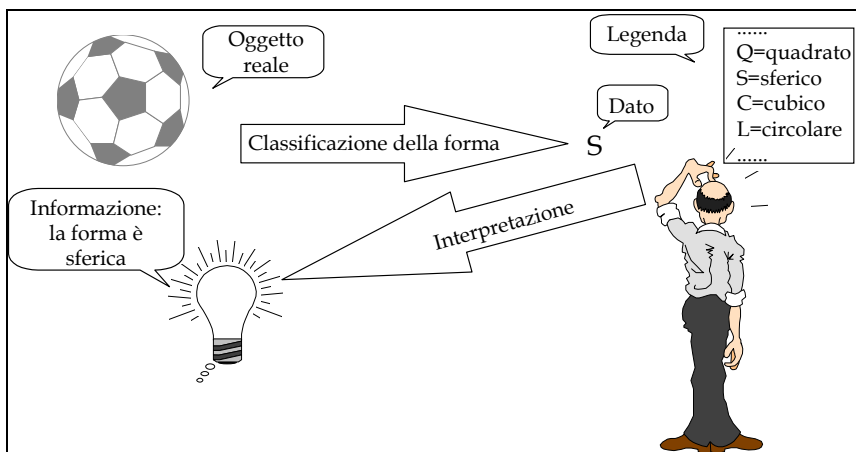
Un calcolatore non è in grado di "comprendere" che il pallone ha un diametro di 20 centimetri: l'elaboratore può conservare ed elaborare dati, ma non è in grado di "comprendere" informazioni.

La "comprensione" è prerogativa dell'uomo.

La conoscenza di un certo fenomeno può poi avvenire tramite la descrizione di alcune caratteristiche (eventualmente ricorrendo ad un sistema di classificazione), e la corretta interpretazione di ciascuna descrizione consente di comprendere un aspetto del fenomeno.

Vi sono aspetti di un fenomeno che non sono misurabili (o per i quali non è opportuno o necessario operare delle "misurazioni"). Ad esempio la forma del pallone, o il suo colore, o il materiale di cui è composto, sono caratteristiche non misurabili.

Posso però descrivere tali caratteristiche "a parole", oppure adottando un sistema di codifica che mi permetta di classificare un oggetto in base alla sua forma, al suo colore, al materiale di cui è composto, ecc. Nel trasmettere ad un'altra persona i dati relativi alle caratteristiche dell'oggetto che voglio descrivere, dovrò anche fornirgli una "legenda" che gli consenta di "tradurre" i codici che ho adottato in una serie di descrizioni "chiare".



L'interpretazione è la lettura di un dato fatta da una persona in grado di valutare quel dato e di comprenderne le relazioni con altri dati disponibili. In tal modo diventa possibile riconoscere una descrizione di un fenomeno, e comprenderne alcune caratteristiche. Naturalmente persone diverse potrebbero dare una lettura diversa dei dati disponibili. Possiamo quindi affermare che differenti interpretazioni dello stesso dato

generano differenti informazioni

Risulta chiaro che un aspetto critico è quello della interpretazione dei dati, e quindi sono da considerare utili tutte quelle iniziative volte a fornire, ove necessario, la "interpretazione ufficiale" dei dati pubblicati (ad esempio rifacendosi ad indicazioni fornite da standard o da normative, e comunque corredandoli di adeguata documentazione).



Un Sistema Informativo è quindi una raccolta organizzata di dati, acquisiti per specifiche esigenze di conoscenza e di rappresentazione, tramite un modello semplificato, di particolari fenomeni reali. Perché si possa parlare di Sistema Informativo, occorre che vi sia anche la capacità, da parte delle persone che utilizzano tale sistema, di interpretare i dati conservati, e di derivarne quelle informazioni e conoscenze che consentono di comprendere le

caratteristiche dei fenomeni di cui il Sistema Informativo costituisce un modello ed una rappresentazione. Un Sistema Informativo, in quanto "modello" che simula e rappresenta fenomeni reali, consente di analizzare tali fenomeni "interrogando" il modello. E' inoltre possibile studiare rapporti e correlazioni esistenti tra diversi parametri relativi allo stesso fenomeno.

Tramite un Sistema Informativo che raccoglie dati relativi a persone (ad esempio l'anagrafe di un comune), è possibile derivare informazioni del tipo:

- \_ età media della popolazione del comune;
  - \_ numero medio dei componenti dei nuclei familiari;
  - \_ statistiche connesse al livello scolastico delle persone;
- ecc.

Tali informazioni possono risultare utili per indirizzare le scelte nei settori dell'assistenza sociale o dell'istruzione.

I numeri ed i codici "conservati" nel Sistema Informativo sono semplicemente delle "rappresentazioni" dell'età, del livello di istruzione, e degli altri dati raccolti allo scopo di "conoscere" i "reali abitanti del comune".

Volendo ora dare una definizione di "territorio", possiamo adottare la seguente: "nella accezione più ampia, possiamo definire "territorio" tutto quello che esiste ed avviene sopra e sotto la crosta terrestre, o che ha una qualche influenza sull'uomo, sulle sue attività, sull'ambiente in cui egli vive ed opera".

Da quanto detto sopra risulta che lo scopo di un Sistema Informativo Territoriale è quello di rendere disponibile un modello del territorio in grado di fornire le informazioni e di consentire le analisi necessarie per lo svolgimento di attività nella maniera più consapevole possibile. Ad esempio l'ente regionale ha notevoli competenze in materia di pianificazione del territorio, qui inteso nella accezione più ampia, comprendente, oltre al suolo, anche le infrastrutture, i manufatti, la popolazione, eccetera, ed opera "decidendo" in base alle necessarie "conoscenze" della realtà e delle esigenze. In tal senso è opportuno disporre di strumenti adeguati a garantire la "conoscenza" del territorio e la valutazione e previsione delle esigenze, in modo da poter operare in maniera adeguata e responsabile. La necessità di far derivare le "decisioni" da una serie di informazioni e valutazioni documentabili e comprensibili risulta inoltre dalla esigenza di garantire la massima trasparenza degli interventi della pubblica amministrazione e conferma l'importanza della costituzione di un Sistema Informativo Territoriale. Possiamo allora adottare come definizione di Sistema Informativo Territoriale: "un SIT è un insieme organizzato di informazioni attinenti al territorio, passibili di un utilizzo sinergico per la costruzione di nuove informazioni derivate ed utili per attività di pianificazione, di gestione, e di valutazione di interventi".



Un Sistema Informativo Territoriale serve allora a rendere disponibile un modello che consenta di "conoscere" il territorio, in modo da poter operare in maniera più consapevole in tutte quelle attività di pianificazione, di gestione e di valutazione di interventi.

In tal senso il SIT si configura anche come uno strumento adeguato a consentire la valutazione degli effetti di certi interventi, e ad analizzare le correlazioni esistenti tra fenomeni diversi relativi alla stessa porzione di territorio: dall'utilizzo sinergico di dati

diversi relativi alla stessa area è possibile derivare conoscenze nuove e complesse.

Ad esempio è possibile studiare la correlazione tra una determinata concentrazione di sostanze inquinanti in una certa area, ed il numero di casi di tumore tra la popolazione residente.

Tale definizione non esplicita le diverse componenti e discipline che pure sono fondamentali in un Sistema Informativo Territoriale, quali:

- la **Cartografia**
- l'**Informatica**
- i **GIS**

Frequentemente si utilizzano indifferentemente le sigle SIT e GIS.

Tali sigle hanno però significati differenti.

GIS (Geographical Information System) indica un Sistema per l'elaborazione di Informazioni Geografiche, e quindi fa riferimento all'insieme di strumenti Hardware e Software specializzati nel trattamento di dati geografici.

SIT (Sistema Informativo Territoriale) fa invece riferimento al Sistema Informativo Territoriale nel suo complesso, e quindi indica gli strumenti HW e SW, ma anche (e soprattutto) i dati e le persone che gli danno vita e che ne garantiscono l'**organizzazione**.

## Cartografia

Nel definire il territorio come l'insieme di tutto quanto esiste ed avviene sopra e sotto la crosta terrestre, ci si pone immediatamente il problema di localizzare le informazioni che si vogliono inserire nel SIT

Infatti è proprio la localizzazione dei singoli fenomeni, e la esplicitazione delle posizioni reciproche tra elementi diversi che consente l'utilizzo sinergico di informazioni diverse.

Disponendo di informazioni relative agli insediamenti umani ed alle loro localizzazioni, e della descrizione dei bacini idrografici (ovvero di quelle porzioni di territorio che convogliano le acque in uno stesso tratto di un corso d'acqua), è possibile in qualche modo valutare l'impatto inquinante che si produce sui diversi fiumi. E' quindi importante evidenziare la posizione reciproca di "informazioni" diverse (quel particolare insediamento composto di x persone è collocato all'interno del bacino idrografico di quel particolare corso d'acqua, che è poi affluente di un altro fiume).

Il problema della localizzazione è sempre stato il dominio della cartografia e, tipicamente, la descrizione di un elemento geografico avviene tramite il disegno su una mappa della posizione e dell'estensione dello stesso.

La cartografia è la scienza e l'arte di rappresentare sul piano la superficie della Terra

La cartografia è strettamente collegata alla Geodesia e alla Topografia, e si propone di fornire una rappresentazione grafica di porzioni di superficie terrestre

La cartografia, intesa come scienza, viene chiamata "cartografia razionale", e insegna a stabilire una corrispondenza biunivoca, sotto forma di relazioni matematiche analitiche, tra i punti della superficie terrestre e gli omologhi punti sul piano.

La cartografia, intesa come arte, viene chiamata "cartografia applicata", e insegna, dopo aver stabilito una certa scala, ad attuare nel piano, sotto forma di disegno artistico, il tipo di rappresentazione prescelto.

Lo scopo della cartografia è quindi quello di rappresentare sul piano (sulla carta) la superficie terrestre, affrontando e cercando di risolvere al meglio il problema fondamentale collegato al fatto che una superficie sferica o ellissoidica non è sviluppabile su una superficie piana.

Con le nuove tecnologie, già da molti anni si è diffuso l'uso di cartografia numerica

Le nuove informazioni, non più semplicemente grafiche, ma acquisite in forma numerica, hanno portato all'evoluzione di sistemi automatici per l'elaborazione di cartografia numerica, che può giustamente essere considerata come una nuova disciplina a sé stante, con le sue proprie specifiche problematiche.

Le nuove informazioni, non più semplicemente grafiche, fisse su di una carta, ma acquisite in forma numerica, e poi rappresentabili tramite periferiche di disegno automatico, hanno portato alla evoluzione di sistemi automatici che consentissero e rendessero più rapido l'editing e la vestizione dei dati acquisiti interfacciando gli stereorestitutori analogici al computer, o addirittura utilizzando stereorestitutori analitici.

A questo punto è sorta l'esigenza di procedere ad una strutturazione dei dati (perché di questo si tratta) cartografici numerici: si sono organizzati per livelli, inizialmente solo per distinguerli in base al colore o allo spessore con cui dovevano poi essere stampati, e successivamente anche organizzandoli per strati tematici (viabilità, idrografia, altimetria, reti tecnologiche, edificato, toponomastica, ecc.).

Nel contempo l'evoluzione tecnologica e la richiesta per capacità di elaborazione della cartografia numerica non semplicemente orientata alla rappresentazione e riproduzione grafica hanno portato alla disponibilità di nuovi strumenti di calcolo, evolutisi fino agli odierni strumenti di G.I.S. (Geographical Information System).

In realtà alla evoluzione dei sistemi computerizzati per il trattamento di cartografia numerica, ha corrisposto anche l'esigenza di nuove strutturazioni dei dati, in modo da meglio congegnarsi al tipo di elaborazioni che si vuole effettuare (dati Map-oriented e GIS-oriented).

I dati "Map oriented" sono generalmente acquisiti per il solo scopo di produrre delle carte, e dunque risultano organizzati in maniera adeguata alle esigenze delle elaborazioni finalizzate alle operazioni di vestizione grafica e di restituzione (eventualmente anche su periferiche di disegno molto sofisticate).

La disponibilità di dati numerici ha contemporaneamente incentivato la produzione di nuovi strumenti automatici magari meno sofisticati o potenti nelle elaborazioni collegate alla vestizione ed alla riproduzione, ma in grado di fornire strumenti adeguati ad elaborare i dati per fornire un supporto alle decisioni circa l'intervento sul territorio (sia di ordine politico e pianificatorio, che di ordine tecnico e progettuale)

Senza voler dare una descrizione esauriente, possiamo affermare che i dati "GIS oriented" devono sottostare ad una organizzazione più complessa, che molto spesso collega i dati grafici ad altri dati alfanumerici che descrivono o quantificano aspetti relativi agli oggetti rappresentati.

Naturalmente diventa grandissima l'esigenza di studiare, in maniera non improvvisata, l'organizzazione e la strutturazione dei dati e, dunque, anche il costo di acquisizione e di collegamento delle informazioni aumenta in misura notevole.

Appare chiaro che l'organizzazione di un GIS, l'introduzione di dati cartografici ed alfanumerici, la definizione delle strutture e delle modalità di elaborazione e di utilizzo delle informazioni e la documentazione e la diffusione dei patrimoni informativi risultano attività decisamente complesse. Come complessi diventano gli strumenti, i dati, i flussi che li movimentano, così complesse risultano le organizzazioni delle persone e delle competenze che in qualche modo sono coinvolte nella formazione dei Sistemi Informativi Territoriali.

A questo punto si vede come risulti limitativo attribuire il nome di "cartografia numerica" a quei dati che devono servire per il collegamento al terreno di fenomeni che sono descritti nei GIS mediante strutture anche molto complesse e che forniscono descrizioni anche molto sofisticate del territorio, nelle sue migliaia di facce diverse.

E' dunque opportuno riconoscere che i dati geometrici che devono entrare a far parte di un GIS in qualche modo sono superiori alla cartografia numerica ed acquistano invece una connotazione di "base informativa" in quanto collegano i fenomeni che sono sul territorio con la loro rappresentazione geometrica e con i loro attributi ed evidenziandone anche i rapporti topologici.

In tal senso sembra corretto definire il problema della organizzazione dei dati geografici di un SIT un problema di tipo "informatico".

## Informatica

L'informatica, intesa come disciplina che si occupa dell'organizzazione delle informazioni (o, forse più correttamente, dei dati), svolge un suo particolarissimo ruolo nella attivazione di un sistema informativo territoriale.

Il modello logico dei dati rappresenta il progetto di organizzazione della base di dati del Sistema Informativo. Per i sistemi informativi classici da diversi anni è stato proposto il modello concettuale Entity-Relationship (modello basato sulla definizione delle entità e delle relazioni tra entità), che consente di descrivere mediante un formalismo ad hoc gli oggetti trattati e le relazioni esistenti, rendendo tale progetto logico immediatamente riportabile nel modello fisico che può essere implementato su di un DBMS relazionale

Tale modello però non è adeguato a descrivere entità geometriche, né relazioni topologiche tra tali entità. La Regione Lombardia ha affidato al prof. G. Pelagatti ed ad un nucleo di tecnici della società Lombardia Informatica l'incarico di studiare una estensione del modello ER, in modo da essere in grado di modellizzare anche entità di tipo geometrico: da tale lavoro è nato il modello concettuale GEO-ER. Mediante tale formalismo la Regione Lombardia ha definito la strutturazione dei dati della sua CTR 1:10.000, ed è ora in atto una iniziativa interregionale per lo studio di una organizzazione dei dati di una prossima Carta Tecnica in scala 1:50.000 (fermo restando i problemi di rappresentazione dei dati alla scala 1:50.000, che indurrebbero ad orientarsi verso una cartografia simbolica, è comunque possibile costruire una cartografia tecnica destinata ad un utilizzo su elaboratore, e da cui di volta in volta si derivino opportune forme simboliche per la rappresentazione su carta (versione Simbolica)).

Altro argomento proprio dell'informatica è quello della documentazione delle informazioni, ovvero della predisposizione della meta-informazione, indispensabile per consentire la comprensione e quindi l'uso consapevole delle informazioni conservate e rese disponibili.

Se poi all'informatica, intesa quindi più estensivamente, si fanno riferire tutte le problematiche che coinvolgono più in generale hardware e software, vediamo che altri aspetti, nell'attivazione di un SIT, che riguardano l'informatica sono quelli relativi alla scelta e al dimensionamento della strumentazione HW e SW.

## Geographical Information System

Mentre la cartografia topografica è, per tradizione, composta da una ben definita serie di strati tematici (ad esempio nella cartografia in scala 1:25.000 dell'IGMI sono presenti: ferrovie, viabilità, edificato, idrografia, orografia, vegetazione, toponomastica e limiti amministrativi), senza particolari vincoli di organizzazione dei dati salvo quelli imposti dal sistema di elaborazione (tipicamente un sistema orientato al mapping o al CAD), gli archivi di dati geografici GIS-oriented sono tipicamente suddivisi in strati tematici separati, i più disparati. Anzi, rispettando una serie di vincoli e di limitazioni introdotti dal modello fisico dei dati che è alla base del sistema adottato, vi sarà anche la necessità di separare in strati distinti elementi che logicamente sono omogenei: ad esempio ci sarà la necessità di tenere separato lo strato dell'edificato poligonale da quello puntuale, come ad esempio nel sistema ARC/INFO, che non è in grado di gestire nell'ambito della stessa copertura oggetti di tipo punto e di tipo poligono.

Un dato geografico si compone tipicamente di tre diversi tipi di dati:



**dati localizzanti** (ad esempio le coordinate),

**dati attributo** (codici, misure, toponimi, e tutti gli altri eventuali attributi dell'oggetto)

**dati topologici** (generati automaticamente dal sistema GIS, riportano quelle informazioni relative alla posizione dell'oggetto relativamente ad altri oggetti geometrici: poligono a destra e poligono a sinistra di un arco, nodo di partenza e nodo di arrivo, ecc.).

Un breve accenno ai dati topologici: la topologia fa riferimento essenzialmente alle relazioni spaziali non metriche tra vari elementi su di una superficie. Le relazioni topologiche non vengono alterate da distorsioni geometriche o trasformazioni della superficie. La definizione di adiacenza, ad esempio, deriva da relazioni topologiche, e riflette l'enorme bisogno, nell'uso dei dati geografici a scopo di analisi, di conoscere la posizione di un elemento non solo nello spazio assoluto, ma anche in riferimento agli elementi confinanti.

## Organizzazione

Nella attivazione di un Sistema Informativo Territoriale il problema fondamentale da affrontare è quello della organizzazione: vanno chiaramente definiti il ruolo ed i rapporti tra coloro che producono dati territoriali e coloro che li devono utilizzare per lo svolgimento dei propri compiti istituzionali.

Tale organizzazione è molto complessa da impostare e raggiungere all'interno di un singolo ente (ad esempio la Regione, che al suo interno è strutturata in diversi dipartimenti, a loro volta suddivisi in aree e servizi, ciascuno titolare di una serie di competenze e responsabile di una serie di procedure di gestione, di programmazione, di pianificazione, di verifica), e diventa difficilissima da perseguire quando si tratta di coordinare ed armonizzare iniziative di enti diversi.

Il territorio, come realtà unica, è però competenza di diversi enti ed aziende, con scopi, competenze, finalità diverse: Stato (a sua volta articolato in diversi ministeri ed uffici vari), Regione, Provincia, Comune, azienda sanitaria locale, aziende per la distribuzione di servizi (trasporti pubblici, acqua, gas, elettricità, telefoni, televisione, ecc.).

Ciascun ente o azienda è naturalmente interessata a "conoscere" il territorio su cui opera, e quindi a raccogliere, analizzare, aggiornare, usare una serie di informazioni che le servano da "modello" della realtà (il territorio, le persone, l'ambiente, il suolo ed il sottosuolo) con cui interagisce.

Sarebbe ottimale che "attori" diversi potessero condividere le informazioni, interpretandole in maniera univoca, in modo che le iniziative e le decisioni che discendono poi da tale conoscenza del territorio possano essere coerenti.

Purtroppo non è facile favorire né la condivisione delle informazioni, né l'univocità della interpretazione che si dà degli stessi dati.

A tale riguardo si pone come fondamentale il problema della documentazione dei dati, e della pubblicizzazione del patrimonio informativo che ciascun ente raccoglie o possiede.

Vi sono ad oggi iniziative per la diffusione tramite INTERNET di notizie circa il patrimonio informativo disponibile, tramite appositi cataloghi, spesso costruiti in maniera estemporanea, e senza garantire una effettiva capacità di comprendere le caratteristiche (di completezza, di aggiornamento, di precisione metrica, di riservatezza, di accessibilità) degli archivi posseduti. A tale scopo sono in corso iniziative di definizione di standard per la documentazione degli archivi geografici: di particolare interesse per noi appaiono le specifiche CEN TC287, concordate a livello europeo, per la documentazione di dati geografici.

## L'esperienza della Toscana: lavori in corso per l'attivazione del SIT

### *Un po' di storia*

Nella seconda metà degli anni settanta era consulente della Regione Toscana il dott. Paolo Mogorovich, che coordinava un gruppo di borsisti coinvolti nella acquisizione ed elaborazione di dati geografici. La struttura dati adottata all'epoca per i dati digitalizzati da cartografia faceva riferimento allo standard americano DIME, per cui ciascun arco era dotato di un record testa-tratto riportante il codice dell'area a sinistra ed il codice dell'area a destra, seguito dai vari records con le coordinate. Per l'elaborazione dei dati erano stati acquisiti una serie di programmi sviluppati dalla Geosystems s.r.l., che servirono, insieme alla documentazione predisposta per la Regione dalla stessa ditta, a "formare" una serie di tecnici, tra cui l'ing. Pelacani, che oggi dirige il settore che si occupa della produzione di cartografia tecnica regionale. Tale gruppo di lavoro curò, insieme a tecnici del Dipartimento Agricoltura e Foreste e del Dipartimento Assetto del Territorio, l'appalto delle operazioni di digitalizzazione dei dati dell'inventario forestale della Toscana

(dati altimetrici e di uso del suolo su maglia regolare di 400 metri di lato, reticolo idrografico e bacini idrografici, reticolo stradale e ferroviario, vincolo idrogeologico).

Successivamente venne attivata una Stazione di Acquisizione Dati Territoriali (S.A.Da.T.) presso il servizio Cartografico diretto dall'arch. Piero Spagna (Dipartimento Assetto del Territorio), dotata di plotter, videografico e digitizer, dove vennero raccolti ed elaborati i primi archivi geografici (relativi alle sezioni di censimento - censimento 1981).

A seguito della conclusione della consulenza del dott. Mogorovich, sciolto il gruppo di borsisti, rimasero ad occuparsi delle problematiche di raccolta ed elaborazione dati geografici unicamente l'ing. Pelacani (che si occupava soprattutto della stesura dei capitolati di cartografia tecnica numerica, tra i primi in Italia, e di tutte le operazioni connesse alla produzione di cartografia topografica) e due tecnici, che portavano avanti sperimentazioni presso la stazione di acquisizione dati territoriali, sul fronte della cartografia tematica.

Con l'acquisizione di un sistema GIS ARC/INFO, e successivamente di un plotter elettrostatico, aumentarono considerevolmente le capacità di elaborazione, e piano piano la stazione di acquisizione dati territoriali divenne un punto di riferimento per tutti quei tecnici regionali che desideravano sperimentare tecnologie GIS per la raccolta ed analisi di dati geografici.

Quello che era nato come un piccolo nucleo di tecnici, coinvolti nella sperimentazione di nuove tecnologie in problematiche di elaborazione dati territoriali (esperienze che spaziano dal telerilevamento all'analisi socio-economica del territorio, sempre in collaborazione con tecnici di altri dipartimenti, titolari di specifiche competenze) ha potuto dar vita nel tempo, sempre diretti da Piero Spagna, al Sistema Informativo Territoriale della Regione Toscana.

La novità fondamentale degli ultimi anni arriva con la legge sulle "Norme per il governo del territorio" (Legge Regionale n.5 del 1995) che all'articolo 4 recita:

#### **Regione Toscana - L.R. n.5 del 16/1/1995 - Norme per il governo del territorio**

##### **Articolo 4 - Sistema Informativo Territoriale**

- 1. La Regione, le Province e i Comuni singoli o associati partecipano alla formazione e gestione del sistema informativo territoriale (SIT)**
- 2. Il SIT costituisce riferimento conoscitivo fondamentale per la definizione degli atti di governo del territorio e per la verifica dei loro effetti.**
- 3. Sono compiti del SIT:**
  - a) l'organizzazione della conoscenza necessaria al governo del territorio, articolata nelle fasi della individuazione e raccolta dei dati riferiti alle risorse essenziali del territorio, della loro integrazione con i dati statistici, della georeferenziazione, della certificazione e finalizzazione, della diffusione, conservazione e aggiornamento;**
  - b) la definizione in modo univoco per tutti i livelli operativi della documentazione informativa a sostegno dell'elaborazione programmatica e progettuale dei diversi soggetti e nei diversi settori;**
  - c) la registrazione degli effetti indotti dall'applicazione delle normative e delle azioni di trasformazione del territorio.**
- 4. Il SIT è accessibile a tutti i cittadini e vi possono confluire, previa certificazione nei modi previsti, informazioni provenienti da enti pubblici e dalla comunità scientifica.**
- 5. Alla costituzione e alla disciplina del SIT si provvede, anche con atti successivi, entro un anno, d'intesa con le Province e i Comuni, nel quadro degli adempimenti previsti dallo Statuto regionale per garantire la disponibilità dei dati informativi.**

Tale articolo prefigura un complesso organizzativo-funzionale formato e gestito dalla Regione Toscana insieme alle Province ed ai Comuni toscani, finalizzato a costituire il riferimento conoscitivo fondamentale per la definizione degli atti di governo del territorio e per la verifica dei loro effetti. Il SIT deve inoltre risultare accessibile a tutti i cittadini, in modo che siano conoscibili da tutti le informazioni che hanno contribuito a costituire il quadro conoscitivo su cui si è basata la definizione degli atti di governo del territorio.

A tale scopo il SIT deve affrontare la individuazione delle modalità organizzative con cui Regione, Province e Comuni possono cooperare nelle attività di raccolta, organizzazione, manutenzione ed utilizzo del patrimonio di informazioni territoriali.

Il SIT deve inoltre dotarsi di standard utili nella documentazione dei dati, nella definizione e documentazione della qualità dei dati, nella definizione delle modalità di scambio dei dati.

Il SIT, nell'organizzare i dati che raccoglie e per programmare le nuove attività di formazione archivi deve dotarsi di un modello dei dati, di modo che siano esplicitate le relazioni (spaziali e topologiche) che devono esistere tra oggetti geografici appartenenti a diversi strati informativi. In particolare risulta di particolare urgenza la definizione di un modello logico (e del corrispondente modello fisico) per la organizzazione dei dati della Cartografia Tecnica Regionale nell'ambito del patrimonio informativo del SIT.

Il SIT deve garantire la pubblicizzazione, la diffusione, la conservazione, la certificazione dei dati che raccoglie.

Il SIT deve garantire che i quadri conoscitivi adottati a sostegno delle attività di programmazione e di pianificazione dai diversi soggetti e nei diversi settori coinvolti nei vari livelli di governo del territorio derivino dallo stesso patrimonio informativo, e si differenzino unicamente per livello di dettaglio, a seguito di operazioni di sintesi e di accorpamento. Naturalmente anche le modalità di sintesi e di accorpamento dei dati originari devono essere documentate e certificate, o eventualmente standardizzate, in modo da garantire la necessaria consapevolezza nell'uso delle informazioni derivate.

Il SIT deve inoltre recepire gli effetti indotti dall'applicazione delle normative e delle azioni di trasformazione del territorio.

Il SIT deve inoltre promuovere tutte quelle iniziative utili a raccogliere, documentare e riutilizzare tutte quelle informazioni territoriali, tutti quegli archivi, tutte quelle cartografie tematiche che di volta in volta sono stati costruiti in occasione di particolari esigenze di conoscenza del territorio, e che non sono mai stati resi disponibili per un utilizzo da parte di altri settori diversi da quelli che li avevano prodotti.

### **Lavori in corso**

Al momento sono in corso attività collegate alla riorganizzazione dei dati provenienti dalla produzione di Cartografia Tecnica Regionale in un formato orientato alla elaborazione con metodologie GIS: a tale scopo è allo studio la definizione di un modello logico (ed un conseguente modello fisico) dei dati, in qualche modo indotto dalla iniziativa interregionale, a cui partecipa anche la Regione Toscana, per la definizione di contenuti informativi e strutturazione della Carta Tecnica Interregionale in scala 1:50.000.

Sono in corso iniziative per la attivazione del SIT della Toscana, secondo i dettati dell'art.4 della legge regionale 5/1995, nell'ambito del costituendo Sistema Informativo Regionale, e cercando il confronto ed un coordinamento, in prima battuta, con le Province toscane (rinviando ad un tempo successivo quelle indispensabili interazioni che sarà necessario attivare con i Comuni).

Sono in corso iniziative per la pubblicazione su INTRANET/INTERNET di un catalogo dei dati geografici disponibili presso il SIT, documentandoli secondo quanto dettato dalle specifiche concordate a livello europeo dal CEN (TC287). Insieme alla pubblicazione del catalogo dei dati, sarà attivato un servizio di Internet Mapping, che consentirà di visualizzare sotto forma di mappe gli archivi geografici descritti, di interrogarne gli attributi, di operare ingrandimenti, di interagire con le modalità di rappresentazione delle diverse entità geografiche, consentendo quindi un limitato insieme di funzionalità GIS per la analisi delle informazioni. Il catalogo pubblicato su INTERNET andrà a sostituire quello cartaceo al momento distribuito dalla Regione Toscana "Verso il Sistema Informativo Territoriale della Regione Toscana :gli archivi numerici dei dati".

## **Appendice: Cenni di Geodesia, Topografia e Cartografia**

### ***Prefazione***

Le note di seguito riportate nascono dalla unione e rielaborazione di stralci di diversi testi e documenti pubblicati nel tempo su argomenti attinenti la Cartografia, la Topografia e la Geodesia. Moltissimo materiale è stato prodotto da tecnici e studiosi dell'Istituto Geografico Militare Italiano, che è sempre stato il depositario principe delle conoscenze nello specifico settore.

Cartografia, Geodesia e Topografia sono tutte scienze che concorrono alla produzione delle carte o mappe geografiche e topografiche, e dunque è opportuna una sia pur breve analisi degli scopi e delle tecniche di ciascuna di esse.

Se scopo della Cartografia è di riportare graficamente sul piano, mediante opportune leggi matematiche, quanto esiste sulla superficie terrestre, essa si collega strettamente alla Geodesia, il cui scopo è definire forma e misure della Terra, ed alla Topografia, il cui scopo è individuare e misurare la posizione reciproca di punti sulla crosta terrestre.

### ***Introduzione***

Nel voler trattare la Cartografia è opportuno evidenziare come questa sia la scienza e l'arte di rappresentare sul piano la superficie della Terra.

La Cartografia è strettamente collegata alla Geodesia ed alla Topografia, e si propone di fornire una rappresentazione grafica di porzioni di superficie terrestre (sia la superficie fisica che l'insieme di tutti i manufatti artificiali ad essa sovrapposti).

La Cartografia, intesa come scienza, viene chiamata Cartografia razionale, e insegna a stabilire una corrispondenza biunivoca, sotto forma di relazioni matematiche analitiche, tra i punti della superficie terrestre e gli omologhi punti sul piano.

La Cartografia, intesa come arte, viene chiamata Cartografia applicata, e insegna, dopo aver stabilito una certa scala, ad attuare nel piano, sotto forma di disegno artistico, il tipo di rappresentazione prescelto.

La Topografia, appoggiandosi ad altre scienze, come la Geometria, la Statistica Matematica, la Fisica, il Calcolo Numerico, definisce un complesso di tecniche di misura, di calcolo e di disegno che permette di definire metricamente il terreno.

La Topografia si è arricchita con l'utilizzo delle tecniche fotogrammetriche, che consentono procedimenti rapidi ed economici per la misurazione e l'individuazione della posizione relativa di diversi punti sul terreno.

Le basi scientifiche della Fotogrammetria si ritrovano nella Geometria Analitica e nella Geometria Proiettiva, in quanto si studiano le relazioni esistenti fra le diverse forme di rappresentazione di un oggetto piano o tridimensionale, ed in particolare le relazioni fra una o più prospettive dell'oggetto e la sua rappresentazione mediante proiezione quotata sul piano.

La Geodesia si occupa della determinazione geometrica (della forma e delle dimensioni) della superficie terrestre, intesa come superficie effettiva e materiale della Terra, con tutte le sue irregolarità ed accidentalità, e dunque in tutti quegli aspetti che effettivamente interessano l'Ingegneria, la Geografia, il Catasto, ecc.

D'altra parte, considerando lo scopo scientifico della Geodesia, in quanto essa si collega ai problemi astronomici, fisici, geologici e alle ricerche fisico-matematiche in generale, e pensando inoltre la Terra come originata dal condensarsi di una massa originariamente fluida e sottoposta a forze di vario genere si vede che per essa conviene considerare non la superficie definita dalla crosta terrestre, ma una che pur scostandosi di poco, nel suo andamento generale, dalla crosta medesima, risulti però molto più regolare.

### ***Geodesia***

La individuazione della forma della terra, scopo principale della Geodesia, insieme alla individuazione delle sue misure, parte dal presupposto che la Terra si sia originata dal condensarsi di una massa inizialmente fluida e sottoposta a forze di vario genere.

Per quanto si è accennato, la ricerca della superficie matematica della Terra è un problema di carattere essenzialmente idrodinamico, in quanto essa conduce ad indagare sulle forme in equilibrio di una massa fluida sottoposta alle forze a cui è sottoposta la massa terrestre, che possono essere suddivise in due grandi categorie:

1) forze di mutua attrazione fra le diverse particelle costituenti la massa terrestre, e fra questa ed i vari corpi esterni alla Terra secondo le leggi della gravitazione universale;

2) forze originate dalle varie accelerazioni dei vari moti da cui la Terra è animata.

Se, nella analisi delle forze a cui è sottoposta la Terra, e che hanno contribuito a definirne la forma, ci limitiamo a considerare solo quelle predominanti, e cioè quelle di mutua attrazione fra le particelle costituenti la massa terrestre (senza dunque considerare i corpi esterni) e quella legata al movimento di rotazione della Terra intorno al suo asse, la superficie di equilibrio che ne deriva prende il nome di Sferoide terrestre o Geoide, ed è appunto questa la superficie che serve di base nelle ricerche dell'alta Geodesia.

Per curiosità riportiamo qui di seguito i 14 movimenti della Terra constatati e misurati fino ad oggi:

- 1) movimento di rotazione intorno all'asse: il suo periodo, detto giorno siderale serve di base alla misura del tempo;
- 2) movimento di rivoluzione intorno al Sole, si compie sopra un'orbita ellittica in un anno siderale corrispondente a circa 365.24 giorni siderali (365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 45.68 secondi);
- 3) precessione degli equinozi, consistente in un moto conico dell'asse terrestre intorno ad una posizione media, che si compie in circa 26000 anni;
- 4) nutazione, si tratta di oscillazioni di vario periodo dell'asse terrestre intorno alle successive generatrici del moto conico sopra accennato;
- 5) spostamento della linea degli apsidi: moto di rotazione dell'asse maggiore dell'orbita terrestre nel piano dell'orbita stessa, che si compie in circa 108000 anni;
- 6) migrazioni del polo terrestre: si tratta di piccoli spostamenti che l'asse di rotazione compie entro la Terra, con conseguenti variazioni dei poli (il massimo spostamento finora misurato è di 20 metri);
- 7) traslazione del sistema solare: attualmente avviene verso la costellazione della Lyra con velocità di circa 20 Km/sec.;
- 8) spostamento del sistema galattico: scoperto nel 1916, avviene verso la costellazione del Capricorno con velocità di 600 Km/sec.;
- 9) moto intorno al baricentro del sistema Terra-Luna, con periodo di circa un mese;
- 10) variazione secolare dell'obliquità dell'asse terrestre, che si aggiunge al moto conico già ricordato (0.48 secondi all'anno);
- 11) variazione secolare dell'eccentricità dell'orbita, che tende ad avvicinarsi alla forma circolare (diminuendo di 0.000043 all'anno);
- 12) perturbazioni planetarie, dovute all'attrazione dei pianeti costituenti il sistema solare;
- 13) spostamento del centro di gravità del sistema solare, provocato da diverse cause perturbanti;
- 14) maree della crosta terrestre, scoperte nel 1908: moto pulsante proprio della Terra, che solleva il suolo due volte al giorno.

Tutti questi movimenti, eccettuato naturalmente il primo, si possono dire moti perturbatori in quanto producono variazioni, generalmente di carattere periodico, alla forma teoretica del geoide sopra definita. Le ricerche sulla configurazione della superficie terrestre mettono ben presto in evidenza l'importanza di due elementi fisici direttamente osservabili: l'accelerazione di gravità e la direzione della verticale (che, come vedremo, sono fra loro strettamente legati).

L'accelerazione di gravità è l'accelerazione che si manifesta in un punto dotato di massa sottoposto solo alla forza di attrazione Newtoniana (su esso esercitata dalla massa terrestre) e alla forza centrifuga (collegata alla rotazione della Terra intorno al suo asse).

Se in un generico punto P utilizziamo un filo a piombo per individuare la direzione verticale, possiamo definire un vettore gravità (e cioè una entità avente una direzione, un verso ed un modulo: direzione coincidente con la linea passante per il filo a piombo, verso diretto verso la Terra, e modulo (lunghezza del vettore) pari all'intensità della forza che appare attrarre il piombo verso la Terra), che in un ipotetico sistema di assi cartesiani avente origine O nel baricentro della Terra, l'asse Z coincidente con l'asse di rotazione, e gli assi X e Y ad esso e tra loro perpendicolari, può essere espresso mediante una terna di numeri (o coordinate):

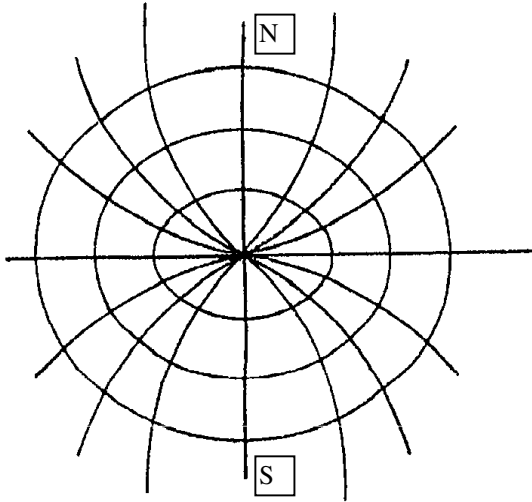
$\underline{g}_x, \underline{g}_y, \underline{g}_z$ .

Tale vettore gravità risulta essere il gradiente di una funzione scalare  $W(x,y,z)$  (cioè funzione del punto, ovvero della posizione), detta funzione potenziale del campo di forza gravitazionale:

$$\underline{g}_x = \frac{\partial W}{\partial x} \quad \underline{g}_y = \frac{\partial W}{\partial y} \quad \underline{g}_z = \frac{\partial W}{\partial z} \quad \text{ovvero} \quad \underline{g} = \text{grad}W; \text{ il campo di forza gravitazionale ha la}$$

caratteristica di essere conservativo (e dunque di ammettere funzione potenziale); nel campo si possono individuare le linee di forza, linee tangenti in ogni punto alla direzione delle forze, che nella fattispecie sono curve gobbe e prendono il nome di verticali: la direzione della gravità in un punto è tangente alla linea verticale che vi passa. Il luogo dei punti aventi lo stesso valore del potenziale costituisce una superficie equipotenziale; le superfici equipotenziali del campo di gravità sono infinite in dipendenza degli infiniti valori che il potenziale può assumere; le superfici equipotenziali sono normali (ortogonali o perpendicolari)

alle linee di forza del campo, e dunque una superficie equipotenziale opportunamente scelta definisce il geode. Il geode è quindi la superficie equipotenziale della gravità che passa per un determinato punto della superficie terrestre; questo punto, a cui ovviamente si deve attribuire quota nulla, è individuato determinando il livello medio del mare in un punto di posizione planimetrica stabilita.



La funzione potenziale  $W$  è data dalla somma delle funzioni potenziali  $v$  e  $V$ , che sono rispettivamente il potenziale relativo alla forza centrifuga e quello relativo alla attrazione universale (o Newtoniana). Senza voler dare dimostrazioni, si indica la forma analitica di tali funzioni potenziali:

$v(x, y) = \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2)$  dove  $\omega$  è la velocità di rotazione della Terra intorno all'asse polare,

$$V(x, y, z) = G \int_{\text{Terra}} \frac{dm}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}}$$

dove  $G$  è la costante di attrazione universale e dove  $dm = \rho(a, b, c) \cdot da \cdot db \cdot dc$  e  $\rho(a, b, c)$  è la densità della Terra nel punto di coordinate  $(a, b, c)$  e dunque la funzione potenziale è:

$$W(x, y, z) = v(x, y) + V(x, y, z) = \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) + G \int_{\text{Terra}} \frac{dm}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}}.$$

Il geode ha quindi come equazione analitica:  $v(x, y) + V(x, y, z) = \text{costante}$ .

Non conoscendo la densità della Terra in ogni suo punto, non è possibile determinare la forma esatta della funzione potenziale relativa all'attrazione Newtoniana  $V(x, y, z)$ , ma effettuando approssimazioni, dimostrate accettabili da una grande quantità di osservazioni sperimentali, si è portati ad individuare per il geode la forma di un solido di rotazione: si è individuato come valida approssimazione quella di uno sferoide di

equazione analitica  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = a(1 - \alpha \frac{z^2}{x^2 + y^2 + z^2})$  dove  $a$  è il semiasse equatoriale della Terra,

$\alpha = \frac{a-b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$  è lo schiacciamento e  $b$  è il semi-asse polare.

Poiché la geometria dell'ellissoide è più semplice e più conosciuta di quella dello sferoide, ed essendo praticamente trascurabili le differenze tra sferoide ed ellissoide, si è convenuto in sede internazionale di assumere come superficie di approssimazione del geode un ellissoide di equazione analitica:

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1.$$

Le semplificazioni adottate sono assolutamente accettabili, tenuto conto che lo scopo principale è la individuazione di una forma per il geode adeguata per le esigenze della Topografia e della Cartografia: la reale forma del geode può essere studiata e determinata facendo poi riferimento allo stesso ellissoide assunto come modello semplificato.

Ulteriore compito della Geodesia è quello di determinare i parametri  $a$  e  $b$ , ovvero  $a$  ed  $e$ : i metodi si basano su misure geometriche (misure di archi di meridiano e di parallelo), su misure di gravità (vi è una relazione fra lo schiacciamento e la variazione di gravità tra polo ed equatore), ed ultimamente sull'utilizzo di satelliti artificiali.

Nel tempo diverse misure sono state suggerite (ed adottate negli utilizzi cartografici), e diverse sono in uso ancora oggi, dando origine ad ellissoidi con nomi diversi (a secondo del geodeta che li aveva calcolati):

ELLISSOIDE	a SEMIASSE MAG.	$\alpha$ SCHIACCIAMENTO
EVEREST (1830)	6377276	1/300.8
BESSEL (1841)	6377397	1/299.2
CLARKE (1866)	6378206	1/294.9
CLARKE (1880)	6378301	1/293.5
HELMERT (1906)	6378140	1/298.3
HAYFORD (1909)	6378388	1/297.0
KRASSOVSKY (1942)	6378245	1/298.3
FISCHER (1960)	6378160	1/298.3
W.G.S.84 (1984)	6378137	1/298.3

A questo punto possiamo introdurre alcuni termini che ci saranno utili successivamente nel trattare Topografia e Cartografia, e porre alcuni problemi fondamentali della Geodesia. I parametri più diffusi nel descrivere l'ellissoide sono:

\_ semiasse maggiore o equatoriale dell'ellissoide (deriva da calcoli e misurazioni) **a**

\_ semiasse minore o polare dell'ellissoide (deriva da calcoli e misurazioni) **b**

\_ schiacciamento dell'ellissoide  $\alpha = \frac{a - b}{a}$

\_ eccentricità dell'ellissoide  $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$

\_ eccentricità aggiunta dell'ellissoide  $e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$

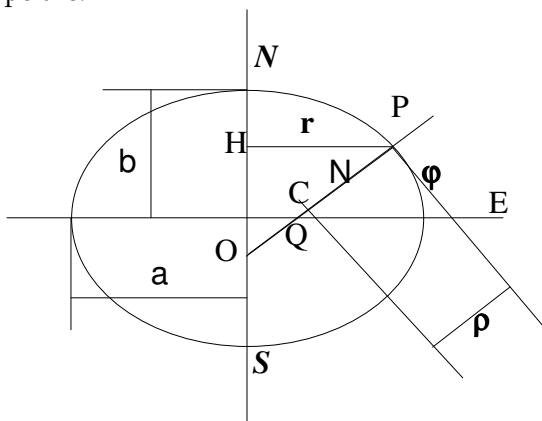
\_ raggio del parallelo alla latitudine  $\varphi$   $r = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$

\_ raggio di curvatura del meridiano alla latitudine  $\varphi$   $\rho = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^3}}$

\_ gran normale alla latitudine  $\varphi$   $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$

\_ raggio medio di curvatura alla latitudine  $\varphi$   $R = \sqrt{\rho N}$

Abbiamo già introdotto la latitudine, senza averla ancora definita, e dunque aiutiamoci con un semplice grafico che mostra una sezione dell'ellissoide ottenuta tagliandolo con un piano qualsiasi passante per l'asse polare:



immaginando di prolungare la retta individuata da un filo a piombo in un generico punto P sulla crosta terrestre (e dunque la retta perpendicolare alla superficie dell'ellissoide in P), questa interseca l'asse polare in un punto O: il segmento PQ è la gran normale **N**.

Il segmento PC è il raggio di curvatura  $\rho$  del meridiano (nel punto P, ovvero alla latitudine  $\varphi$ , che è a sua volta definita come l'angolo compreso tra PQ e QE).

Il segmento PH, **r**, è il raggio del parallelo di latitudine  $\varphi$ .

Definiamo dunque la latitudine come l'angolo  $\varphi$  formato dalla retta normale (perpendicolare od ortogonale) passante

per un punto  $P$  ed il piano contenente l'equatore, e definiamo parallelo di latitudine  $\varphi$  quella circonferenza passante per il punto  $P$  e appartenente ad un piano parallelo al piano equatoriale.

Viene spontaneo, avendo tracciato idealmente sull'ellissoide una serie di circonferenze parallele all'equatore, immaginare di tracciare una serie di ellissi (si chiamano ellissi meridiane) tutte aventi come asse minore l'asse polare (il segmento congiungente i due poli), e dunque appartenenti ad un insieme di piani perpendicolari ai piani dei paralleli ed al piano equatoriale. Per convenzione si è scelto di definire come meridiano di longitudine  $\lambda=0$  quel meridiano passante per Greenwich, e tutti gli altri formeranno, con questo fondamentale, angoli (sul piano equatoriale) compresi tra  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$ . Dunque un punto sulla superficie terrestre può essere univocamente individuato mediante la coppia di coordinate ellissoidiche (chiamate anche coordinate geografiche)  $\lambda$  e  $\varphi$ .

Definiamo infine, senza dilungarci, linea geodetica tra due punti quella linea che traccerebbe un ipotetico elastico i cui estremi siano vincolati ai due punti medesimi (e dunque è la congiungente di minima lunghezza), ed azimut  $\alpha$  l'angolo che la tangente a tale linea geodetica in un estremo forma con il meridiano passante per tale punto (va notato che l'azimut in un estremo generalmente non ha lo stesso valore di quello nell'altro estremo, e vale il noto Teorema di Clairaut che afferma che in ciascun punto di una geodetica è costante il prodotto del raggio del parallelo per il seno dell'azimut:  $r \cdot \sin \alpha = \text{costante}$ ). Definiamo inoltre come sezione retta o sezione normale quella linea congiungente due punti che è effettivamente possibile misurare (sulla Terra) con gli strumenti disponibili, ed azimut della sezione retta l'angolo definito come per le geodetiche.

Teoremi fondamentali della Geodesia ci autorizzano a trascurare gli errori che si commettono nel sostituire le sezioni rette alle linee geodetiche (anche per archi di sezione retta di migliaia di chilometri), e dunque da ora in poi si farà riferimento alle geodetiche pur sapendo che ciò che siamo in grado di misurare sono le sezioni rette.

Inoltre in Geodesia si distinguono un campo geodetico ed un campo topografico: nelle operazioni topografiche è consentito (nel senso che gli errori commessi sono trascurabili) immaginare di sostituire localmente l'ellissoide (e la trigonometria ellissoidica) con una sfera (tangente all'ellissoide in un punto al centro della zona di interesse e di raggio  $R$  che è il raggio medio di curvatura a quella latitudine), e dunque utilizzare la trigonometria sferica, a condizione di operare con archi di geodetiche (distanze misurate tra punti) inferiori ai 100 Km (e questo è il campo geodetico).

Inoltre se ci si limita ad archi di geodetica di circa 20 Km si può sostituire l'ellissoide con un piano tangente ad esso in un punto, ed utilizzare le formule della trigonometria piana.

Siccome per gli scopi della Topografia è indispensabile disporre di una serie di punti di cui siano definite esattamente le coordinate (ovvero la posizione sull'ellissoide), si procede alla individuazione astronomica delle coordinate di alcuni punti, dopodiché si pongono alla Geodesia alcuni problemi fondamentali:

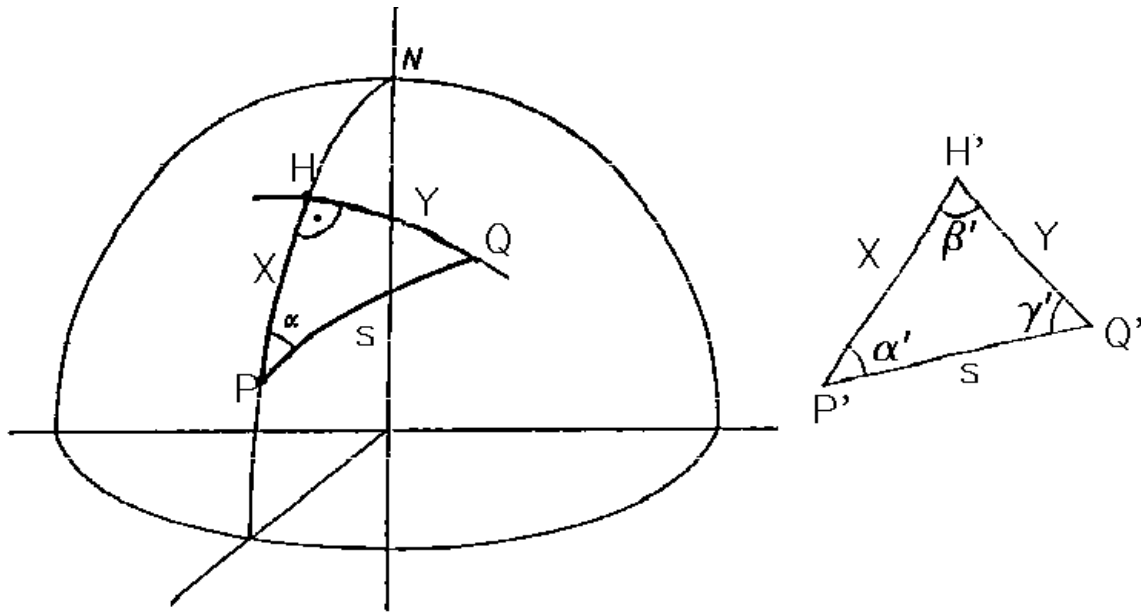
- 1) dato un punto  $P$  di coordinate geografiche note, calcolare le coordinate di un punto  $Q$  collegato al primo da una geodetica di lunghezza  $s$  che si spicca da  $P$  con azimut  $\alpha$ ;
- 2) dati due punti  $P$  e  $Q$  di coordinate geografiche note, calcolare la lunghezza della geodetica che li collega e gli azimut nei due estremi.

Per riuscire a risolvere tali problemi fondamentali è comodo introdurre nuovi sistemi di riferimento che "poggino" sull'ellissoide: i sistemi di coordinate geodetiche polari ed ortogonali.

Considerati un punto  $P$  sull'ellissoide di coordinate geografiche note, la lunghezza  $s$  e l'angolo  $\alpha$  definiscono la posizione di  $P$  rispetto ad un altro punto  $Q$  dell'ellissoide, e sono quindi delle coordinate locali di  $Q$  rispetto a  $P$ : ad esse si attribuisce il nome di coordinate geodetiche polari.

Definiamo ora le coordinate geodetiche rettangolari  $X$  e  $Y$  di  $Q$  rispetto a  $P$ : la geodetica passante per  $Q$  e normale al meridiano passante per  $P$ , interseca quest'ultimo in un punto  $H$ : la coordinata geodetica  $Y$  è pari alla lunghezza dell'arco  $QH$ , e la coordinata geodetica  $X$  è pari alla lunghezza dell'arco di meridiano  $PH$ .





Le formule che consentono di ricavare le coordinate geodetiche rettangolari di Q rispetto a P a partire dalla lunghezza della geodetica  $s$  e dall'azimut  $\alpha$ , con polo (punto di partenza della geodetica) P di latitudine geografica  $\varphi$  sono:

$$Y = s \cdot \sin(\alpha') = s \cdot \sin(\alpha - \varepsilon) \quad \alpha' = \alpha - \varepsilon$$

$$X = s \cdot \sin(\gamma') = s \cdot \cos(\alpha - 2\varepsilon) \quad \beta' = \frac{\pi}{2} - \varepsilon$$

$$\gamma' = \frac{\pi}{2} - (\alpha - 2\varepsilon) \quad \varepsilon = \frac{s^2 \sin \alpha \cos \alpha}{6\rho N}$$

dove  $\varepsilon$  è l'eccesso sferico (la quantità di cui la somma degli angoli interni di un triangolo sferico è superiore rispetto ai  $180^\circ$  che sono la somma degli angoli interni di un triangolo piano).

Le formule inverse, per ottenere le coordinate geodetiche polari a partire da quelle rettangolari sono:

$$\varepsilon = \frac{XY}{6\rho N} \quad u = \frac{(X - 2Y \sin \varepsilon)}{\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \tan \varepsilon} \quad v = Y + \frac{(X - 2Y \sin \varepsilon) \tan \varepsilon}{\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \tan \varepsilon}$$

$$s = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \alpha = \arcsen \frac{v}{s} \quad \text{se } u < 0 \Rightarrow \alpha = \pi - \alpha$$

Le coordinate geodetiche rettangolari rivestono interesse anche perché sono il sistema di coordinate adottato dal Catasto (note quindi come coordinate catastali)

A partire dalle coordinate geodetiche polari del punto Q rispetto a P, e note le coordinate geografiche  $\varphi$  e  $\lambda$  del polo P, si possono calcolare le coordinate geografiche di Q con le serie di Legendre:

$$\varphi_Q = \varphi + \frac{s \cos \alpha}{\rho} - \frac{s^2 \tan \varphi \sin^2 \alpha}{2\rho N} - \frac{3s^2 e^2 \sin 2\varphi \cos^2 \alpha}{4\rho N(1 - e^2)} - \frac{s^3 \sin^2 \alpha \cos \alpha}{6\rho N^2} (1 + 3 \tan^2 \varphi)$$

$$\lambda_Q = \lambda + \frac{s \sin \alpha}{N \cos \varphi} + \frac{s^2 \tan \varphi \sin \alpha \cos \alpha}{N^2 \cos \varphi} + \frac{s^3 \sin \alpha}{3N^3 \cos \varphi} [(1 + 3 \tan^2 \varphi) \cos^2 \alpha - \tan^2 \varphi \sin^2 \alpha]$$

$$\alpha_Q = \alpha + \frac{s \sin \alpha \tan \varphi}{N} + \frac{s^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2N^2} (1 + 2 \tan^2 \varphi) + \frac{s^2 e^2 \sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \varphi}{2N^2(1 - e^2)}$$

Le formule sopra riportate provengono dal testo di Nicola Jadanza "Elementi di Geodesia", e differiscono alquanto da altre riportate in altri testi.

A questo punto ci mancano solo le formule per ricavare le coordinate geodetiche polari di Q rispetto a P, essendo note le coordinate geografiche  $\varphi$  e  $\lambda$  del polo P e  $\varphi_Q$  e  $\lambda_Q$  del punto Q, che però ricaveremo passando attraverso le coordinate geodetiche rettangolari, ottenibili tramite le seguenti formule per

approssimazioni successive (sempre tratte dallo Jadanza: "Guida al calcolo delle coordinate geodetiche" del 1891):

$$\Delta\lambda = \lambda_Q - \lambda \quad n = \frac{a - b}{a + b}$$

$$\varphi' = \varphi + \frac{\Delta\lambda^2 N_\varphi \operatorname{sen} 2\varphi}{4\rho_\varphi} \left[ 1 - \frac{\Delta\lambda^2}{12} + \frac{\Delta\lambda^2 \operatorname{sen}^2 \varphi}{2} \right]$$

$$\varphi_m = \frac{\varphi' + \varphi}{2}$$

$$Y = \Delta\lambda N_{\varphi'} \cos \varphi' \left[ 1 + \frac{\Delta\lambda^2 \operatorname{sen}^2 \varphi'}{3} \right]$$

$$X = (\varphi' - \varphi) \rho_{\varphi_m} \left[ 1 + (\varphi' - \varphi)^2 \frac{n(\cos 2\varphi_m + n(5 - 7 \cos^2 2\varphi_m))}{2} \right]$$

L'importanza di tutte le formule appena viste è collegata al fatto che le coordinate geografiche individuano univocamente la posizione di un punto sull'ellissoide, quelle geodetiche polari sono collegate alle misure che è possibile effettuare con gli strumenti topografici (distanze ed angoli), mentre quelle geodetiche rettangolari coincidono con le coordinate catastali.

Va infine notato che il sistema delle coordinate geografiche assume come sua origine (ovvero punto di coordinate (0,0)) l'intersezione dell'equatore con il meridiano passante per Greenwich, e che esistono tecniche per misurare latitudine e longitudine di un punto (coordinate astronomiche, espresse in ore, e non in gradi, ma convertibili mediante apposite tabelle in coordinate sferiche, poi convertibili in quelle ellissoidiche) mediante misure di angoli eseguite su astri e l'utilizzo di un orologio sincronizzato sul Tempo Universale, o tempo solare medio di Greenwich, e facendo riferimento alle Effemeridi, che sono tavole che riportano le coordinate degli astri ad intervalli fissi di tempo.

## Topografia

La Topografia si interessa del rilevamento della posizione relativa di punti sulla superficie terrestre, ed utilizza, a tale scopo, misurazioni di grandezze geometriche: distanze, dislivelli, angoli azimutali ed angoli zenitali.

La distanza fra due punti misurabile con le tecniche topografiche è la lunghezza dell'arco di sezione normale (la sezione normale che congiunge un punto P ad un punto Q si ottiene tagliando l'ellissoide con un piano contenente i punti P e Q, e la verticale all'ellissoide passante per P: naturalmente, a meno che P e Q giacciono su di uno stesso meridiano o su uno stesso parallelo, la sezione normale che congiunge Q a P risulta essere differente da quella che congiunge P a Q) compresa tra le proiezioni P' e Q' sull'ellissoide (ovvero la proiezione sulla superficie di livello 0, cioè quella corrispondente al livello medio del mare adottata come riferimento).

Date le due sezioni normali congiungenti un punto O con i punti P e Q, queste, intersecandosi lungo la verticale in O, formano un angolo, detto l'angolo azimutale POQ (angolo in O tra P e Q).

Se invece di una sezione normale congiungente O a Q si considera quella contenente il meridiano passante per O, l'angolo che essa forma con la sezione normale congiungente O a P è detto l'azimut di P rispetto ad O (compreso tra 0 e 360° e misurato in senso orario).

Dati due punti P e Q, si definisce distanza zenitale di Q rispetto a P l'angolo che la congiungente PQ forma con la verticale in P.

Il dislivello tra P e O è la differenza fra la quota  $Q_P$  e la quota  $Q_O$ , e risulta  $D_{PO} = Q_P - Q_O = -D_{OP}$ .

Lo strumento principe del topografo è il teodolite, che, dotato di livelle per uno stazionamento perfettamente verticale in un punto P, di un cannocchiale dotato di mire per una precisa collimazione di un punto Q, e di due cerchi graduati (uno orizzontale ed uno verticale), consente di effettuare misure di angoli (azimutali e zenitali), e, tramite tecniche opportune, anche di distanze.

Oggi sono disponibili strumenti molto sofisticati che consentono di misurare con notevole precisione sia gli angoli che le distanze.

Senza volerci addentrare nella descrizione degli strumenti, né delle modalità di effettuazione delle misure, limitiamoci ad individuare alcuni punti chiave dei rilievi topografici.

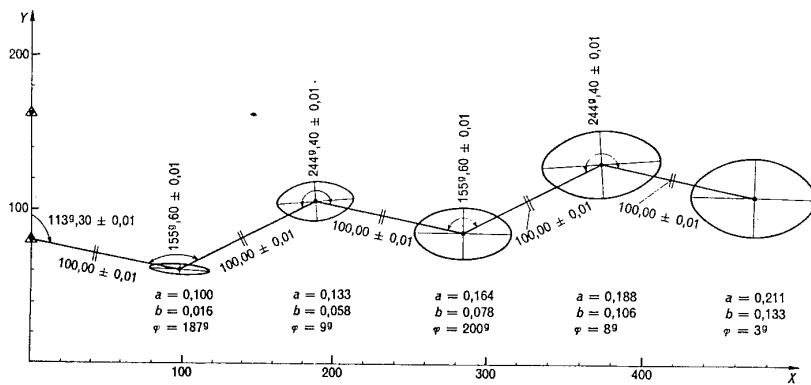


Fig. 21. Ellissi standard in una poligonale tacheometrica.

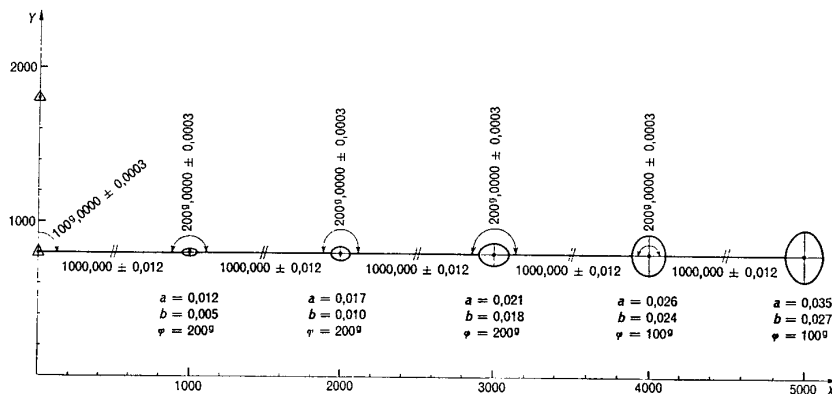


Fig. 22. Ellissi standard in una poligonale rilevata con geodimetro e teodolite da 1".

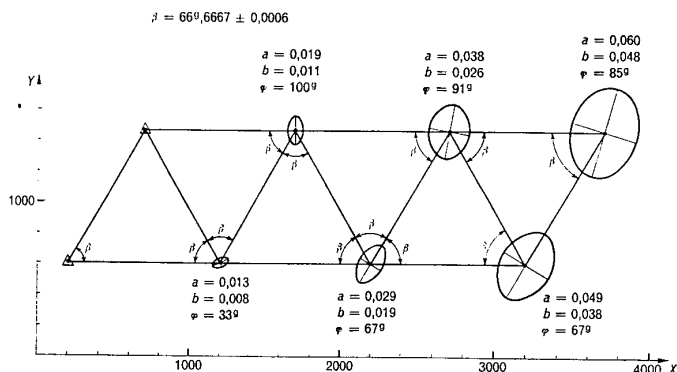


Fig. 23. Ellissi standard in una catena di triangoli rilevata secondo lo schema dell'intersezione laterale.

Se da un punto P, di coordinate note, misuriamo la distanza e l'azimut di un punto Q, possiamo calcolare le coordinate anche di questo.

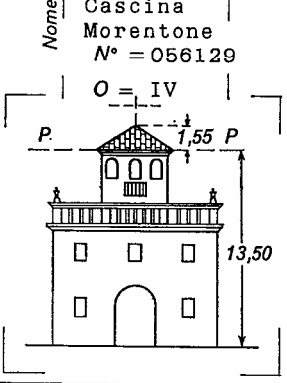
Per contenere gli errori di misura, e spesso perché il punto Q che vogliamo individuare non è direttamente visibile da P, siamo portati ad effettuare una serie di misure tra una successione di punti, formando così una poligonale (o meglio una rete composta da svariati triangoli), che conviene poi richiudere nuovamente su P (poligonale chiusa) o su di un altro punto R di coordinate note (poligonale aperta).

In tal modo è possibile riconoscere l'errore globale commesso nelle misure di angoli e distanze, e ripartirlo opportunamente nei diversi punti, mediante una operazione di **compensazione** (apportando alle misure effettuate delle piccole correzioni, opportunamente valutate in base alla **Teoria degli errori**, per eliminare le sconessioni che altrimenti risulterebbero nella rete) onde arrivare alla individuazione dei valori più probabili delle coordinate dei vertici della rete.

La necessità di disporre di punti di coordinate note, individuate con un elevato e certificato grado di precisione (da cui far

partire e a cui far arrivare le poligonali lungo cui effettuiamo le misure), è soddisfatta dalle reti geodetiche di punti trigonometrici create e curate dalla Divisione Geodetica dell'Istituto Geografico Militare.

Su tutto il territorio italiano sono disseminati punti trigonometrici, (suddivisi in reti del I°, II°, III° e IV° ordine), realizzati tramite opportuni manufatti (pilastrini, centrici di superficie e centrici di profondità), o rappresentati da particolari architettonici (ad esempio campanili), di cui sono disponibili le monografie, che, oltre ad una descrizione del punto per consentirne la individuazione ed il riconoscimento, riportano anche le coordinate (geografiche e Gauss-Boaga) del punto stesso.

056129	Comando Regione Militare Nord-Ovest-Torino		
N°	Staz. CC. S. Benigno Canavese		
	Comune	S. Benigno Canavese	Prov. Torino
	Proprietario		
056129	MONOGRAFIA (1954) Belvedere della cascina Asse geometrico del belvedere		
mod. 281/G-AR I.G.M.			
N°	Coordinate geografiche		Nome Cascina Morentone N° = 056129 O = IV 
056129	$\varphi$	$\omega$	
	45° 13' 30'', 919	4° 41' 39'', 744	
N°	Coordinate Gauss-Boaga		
	N	E	
056129	5 008 817,78	1 402 488,09	
N°	Quota al PP H = 228,43		
056129	PP = Gronda tetto belvedere		
	TRIG. Nome	Ord.	F°
	CASCINA MORENTONE	IV	056 ● 129

La rete del I° ordine è composta da punti distanti tra loro dai 30 ai 50 Km (e fino a 200 Km per i collegamenti delle isole), formanti una serie di triangoli, di cui sono stati misurati tutti gli angoli con la massima accuratezza e precisione possibile. Le reti di ordine inferiore sono caratterizzate da geodetiche via via di lunghezza inferiore, e vertici individuati tramite operazioni di misura meno sofisticate e meno costose. Naturalmente anche le reti geodetiche dell'IGMI devono subire operazioni di compensazione, che avvengono tipicamente assumendo come corrette le coordinate di un vertice particolare (**centro di emanazione**), misurando con metodi sofisticatissimi e precisione estrema una o più **basi geodetiche** (la lunghezza di un lato di un triangolo geodetico: ad esempio la Base di Piombino

misurata nel 1959).

Esistono dei parametri fondamentali che concorrono nelle operazioni di compensazione e nel calcolo delle coordinate dei vertici di una rete di triangolazione: i parametri descrittivi dell'ellissoide (semiassi maggiore e minore) e le coordinate determinate astronomicamente del centro di emanazione.

I progressi avutisi nel tempo, la necessità di inquadrare le reti trigonometriche italiane in quella europea ed in quella mondiale, il recente utilizzo dei satelliti nella formazione di triangoli intercontinentali hanno portato ad effettuare nuove compensazioni della triangolazione geodetica.

Naturalmente cartografie realizzate basandosi su reti di riferimento diverse (perché calcolate in base a diversi parametri dell'ellissoide o a diversi centri di emanazione) risultano praticamente incompatibili tra loro (e questo è il motivo delle discrepanze esistenti tra le coordinate di punti nel sistema Gauss-Boaga e nel sistema U.T.M., che pure adottano lo stesso metodo di rappresentazione, come vedremo più avanti trattando della Cartografia; ancora più complesso è il problema della integrazione o confronto tra la cartografia catastale e quella nel sistema di Gauss).

Esaminando la storia della cartografia più recente in Italia, si scopre che sono state adottate diverse triangolazioni: i lavori della rete di I ordine, portati avanti nei primi decenni di questo secolo, si conclusero con la pubblicazione degli "Elementi della rete geodetica fondamentale a nord del parallelo di Roma" (1908) e degli "Elementi della rete geodetica fondamentale a sud del parallelo di Roma" (1919); negli anni successivi furono pubblicati i cataloghi per foglio della Carta d'Italia (1:100000) per tutte le triangolazioni di II, III e IV ordine.

Le coordinate geografiche che definirono la posizione dei singoli vertici furono riferite all'ellissoide di Bessel, orientato sulla verticale di Genova Osservatorio (utilizzando cioè il vertice di Genova Osservatorio come centro di emanazione nella operazione di compensazione) per gli elementi a nord del parallelo di Roma, ed orientato sulla verticale di Castanea delle Furie (provincia di Messina) per gli elementi a sud del parallelo di Roma.

I lavori cartografici, prima alla scala 1:50000 e poi alla scala 1:25000 (e carte derivate) furono iniziati prima della pubblicazione dei suddetti cataloghi, cioè prima di poter disporre dei valori delle coordinate geografiche definitive (compensate), pertanto l'inquadramento cartografico fu realizzato in funzione dei valori provvisori (non compensati). Per evitare discontinuità negli attacchi fra gli elementi cartografici (compensati e non compensati), si continuò fino al 1946 circa ad adottare l'uso di vertici non compensati.

Nel 1939, sotto la guida del prof. Giovanni Boaga, fu effettuato il lavoro di trasformazione delle coordinate geografiche di tutti i punti trigonometrici dei 4 ordini dall'ellissoide di Bessel (riferito a Genova e a Castanea) all'ellissoide Internazionale (o di Hayford), orientato sulla verticale di Roma Monte Mario, di nuova determinazione.

Successivamente anche la cartografia venne aggiornata secondo la nuova definizione.

Per la produzione di cartografia catastale, che utilizza un sistema di coordinate geodetiche rettangolari avente come origine un particolare punto (generalmente un vertice delle reti IGMI più precise, talvolta un punto ideale), furono dunque utilizzati circa 30 sistemi locali, ognuno avente un **centro di sviluppo** diverso (e generalmente utilizzato con coordinate individuate prima delle operazioni di compensazione).

Inoltre una molteplicità di piccole zone fu sviluppata in altrettanti sistemi, di cui ora non risulta molto facile l'identificazione, cioè la conoscenza del centro di sviluppo e la precisa delimitazione della zona.

Comunque risulta, in seguito a ricerche d'archivio e alla effettuazione di opportuni calcoli, che i valori delle coordinate geografiche dei punti trigonometrici forniti all'epoca dall'IGMI (almeno in un primo periodo) furono dedotti da elaborati manoscritti dei calcoli originari (non compensati), come veniva fatto per gli inquadramenti cartografici.

Per curiosità enumeriamo qui i diversi centri di sviluppo di sistemi catastali, con le loro coordinate geografiche ufficiali, ed il loro centro di emanazione, essendo l'ellissoide adottato quello di Bessel.

N.	Centro di sviluppo	Foglio 1:100000	Latitudine	Longitudine	Centro di emanazione
1	P.I. (Vercelli)	-	-	-	-
2	Pordenone	39	45°57'15.104"	3°44'21.453"	GE
3	Monte Bronzone	34	45°42'31.080"	1°04'09.404"	GE
4	Lodi	60	45°18'49.219"	0°34'53.166"	GE
5	Alessandria	70	44°54'51.212"	-0°18'37.157"	GE
6	Monte Bignone	102	43°52'22.465"	-1°11'17.116"	GE
7	Forte Diamante	83	44°27'38.020"	0°01'04.180"	GE
8	Portonovo	88	44°41'55.045"	2°49'55.338"	GE
9	Siena (Torre del Mangia)	120	43°19'03.126"	2°24'39.027"	GE
10	Urbino	109	43°43'27.930"	3°42'54.290"	GE
11	Monte Pennino	123	43°06'02.076"	3°58'03.310"	GE
12A	Roma M.te Mario (Genova)	149	41°55'24.399"	3°31'51.131"	GE
12B	Roma M.te Mario (Castanea)	150	41°55'24.428"	-3°04'06.155"	Castanea
13	Monte Ocre	145	42°15'20.090"	0°59'28.010"	Roma M.M.
14	Monte Palombo	152	41°50'34.650"	-1°42'34.580"	Castanea
15	Monte Terminio	185	40°50'25.860"	-0°34'59.190"	Castanea
16	Taranto	202	40°28'30.105"	1°42'30.469"	Castanea
17	Lecce	204	40°21'02.850"	2°38'57.488"	Castanea
18	Monte Brutto	236	39°08'22.455"	0°54'06.199"	Castanea
19	Monte Titone	257	37°50'47.830"	0°05'14.870"	Roma M.M.
20	Monte Etna (P.Lucia)	262	37°45'47.600"	-0°32'05.810"	Castanea
21	Monte Castelluccio	267	37°24'52.480"	-1°44'28.140"	Castanea
22	Mineo	273	37°15'55.873"	-0°49'40.426"	Castanea
23	P.I. (Sardegna)	-	-	-	-
24	Nuovo Catasto (Innsbruck)	-	-	-	-
25	Nuovo Catasto (Krimberg)	-	-	-	-
26	Monte Cairo	160	41°32'26.080"	-1°45'36.050"	Castanea
27	Francolise	172	41°10'53.600"	-1°27'23.910"	Castanea
28	Cancello	172	41°04'21.230"	-1°29'39.740"	Castanea
29	Miradois (Napoli)	-	-	-	-

30	Monte Petrella	171	41°19'16.112"	4°44'40.000"	GE
31	Marigliano	184	40°55'26.880"	-1°03'51.620"	Castanea

L'inquadramento geodetico e cartografico adottato per la produzione cartografica negli anni successivi alla seconda guerra mondiale poggiava dunque sulla nuova compensazione dei vertici trigonometrici, facendo riferimento all'ellissoide di Hayford (o ellissoide internazionale), ed al centro di emanazione di Roma Monte Mario.

Ricordiamo che la vera forma del geode (cioè quella presentata dai mari in quiete idealmente prolungati sotto i continenti) può essere, per comodità, sostituita con un ellissoide, in quanto le due superfici quasi coincidono, presentando scostamenti massimi di poche centinaia di metri: si può pertanto trasportare in qualche modo i punti del geode (dove giacciono in realtà) sull'ellissoide senza grandi slittamenti e variazioni delle loro relazioni di posizione, e rappresentare infine l'ellissoide sul piano della carta a mezzo di una proiezione o rappresentazione cartografica qualsiasi.

Il trasporto dei punti dal geode all'ellissoide può grossolanamente vedersi come una proiezione, per effettuare la quale occorrerà innanzitutto definire la posizione relativa delle due superfici: ciò si ottiene immaginandole tangenti in un punto particolare, detto **centro di emanazione**, ed imponendo in tale punto la coincidenza del meridiano ellissoidico con quello geoidico (**orientamento dell'ellissoide sul geode nel centro di emanazione**).

Orientato l'ellissoide, sarà possibile trasportare su di esso una qualsiasi rete trigonometrica, osservata in realtà sul geode.

Naturalmente in questo trasporto la rete subisce spostamenti e distorsioni di entità crescente con la distanza dal centro di emanazione: la sua configurazione sull'ellissoide dipende pertanto dal centro di emanazione adottato, e varia se questo cambia.

In altre parole, le coordinate geografiche dei trigonometrici costituenti una rete sono funzione anche dell'orientamento dell'ellissoide, e variano al variare di questo.

Quando, in seguito all'unificazione delle reti geodetiche fondamentali europee, che ha dato avvio al sistema europeo "**European Datum 1950**" (convenzionalmente indicato con **ED50**), si è proceduto ad una nuova compensazione della rete trigonometrica italiana con quelle degli altri stati, e si è adottato (invece di Roma Monte Mario) un orientamento medio europeo dell'ellissoide (che era sempre quello Internazionale), calcolato con il criterio di minimizzare gli spostamenti e le deformazioni della rete nel passaggio dall'ellissoide al geode (e portando dunque ad individuare in un punto in Germania il nuovo centro di emanazione), si è verificata una sorta di compressione a tenaglia della rete italiana, che è all'origine delle discrepanze esistenti tra le coordinate geografiche dei vertici nel sistema Nazionale ed in quello ED50 (e di conseguenza tra le coordinate piane nel sistema Gauss-Boaga e le corrispondenti nel sistema U.T.M.).

Oltre alla rete di triangolazione per mettere a disposizione punti di cui siano note le coordinate geografiche con un notevole grado di precisione, esiste anche la **rete di livellazione fondamentale**, che mette a disposizione punti in cui è stata rilevata con notevole attendibilità la quota rispetto alla superficie di riferimento (data dalla quota media del mare rilevata in diversi mareografi), ed ottenuta anch'essa mediante collegamento alle reti di livellazione degli stati confinanti.

Abbiamo dunque visto come lo scopo della Topografia di individuare la posizione relativa di diversi punti (e dunque le relative coordinate geografiche, che la Cartografia si occuperà di rappresentare opportunamente sul piano) necessita dell'utilizzo di una rete di inquadramento (una serie di punti le cui coordinate siano individuate con adeguata precisione), che presuppone la scelta di un ellissoide a cui fare riferimento, e di un punto in cui immaginare il geode (su cui è possibile effettuare le misure tramite gli strumenti del topografo) tangente all'ellissoide (che il cartografo riesce, tramite opportune forme di proiezione o sviluppo, a rappresentare successivamente sul piano).

Un enorme progresso è stato compiuto quando la Topografia si è arricchita delle tecniche fotogrammetriche (e soprattutto aerofotogrammetriche), che consentono di studiare la posizione relativa di punti al suolo mediante la analisi di immagini fotografiche.

## Fotogrammetria

La Fotogrammetria è una tecnica di rilevazione della posizione di punti mediante l'utilizzo di immagini fotografiche stereoscopiche del terreno.

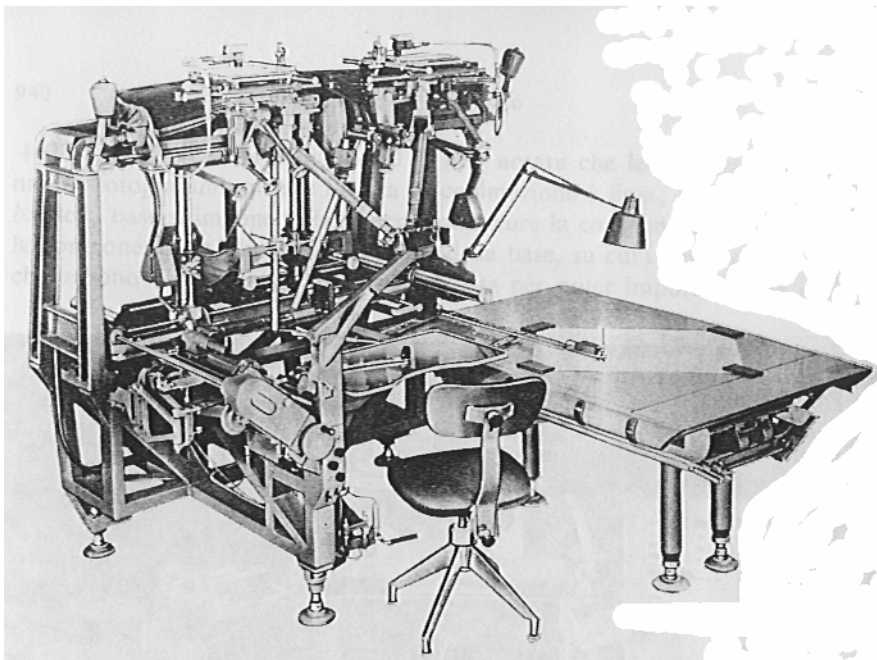
Si tratta per lo più di immagini fotografiche riprese da aereo, in sequenze chiamate strisciate, o strip, utilizzate a coppie, e tali che ciascun fotogramma si sovrapponga per circa il 60% con quelli adiacenti (60% di overlap) e ciascuna strisciata si sovrapponga per il 15% con quelle adiacenti (15% di sidelap).

L'utilizzo della fotogrammetria integra le operazioni di rilievo topografico, consentendo un rilievo di dettaglio del territorio a costi notevolmente ridotti rispetto al rilievo diretto (per ampie zone).

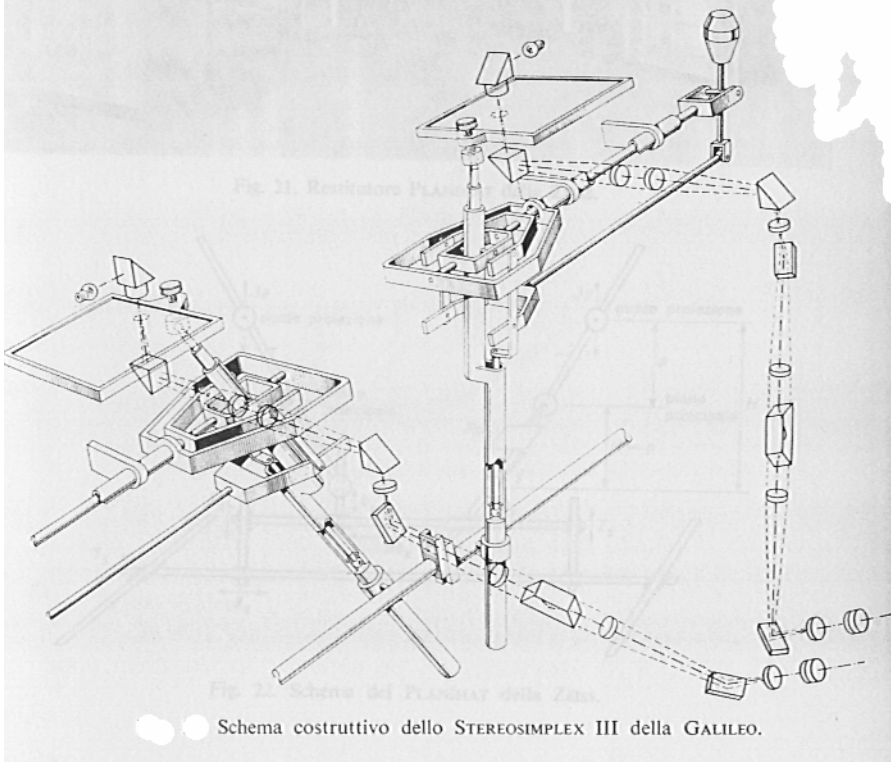
Per il rilievo aerofotogrammetrico occorre disporre di una coppia (o una serie di coppie), o modello, di fotogrammi, presi da punti diversi, ma che si sovrappongano per circa il 60%, ed in cui siano chiaramente visibili almeno quattro punti di inquadramento di cui siano note le coordinate (rilevate a terra, o derivanti da una triangolazione aerea di punti fotografici e di punti rilevati a terra), e magari un quinto punto al centro del modello (di cui sia nota almeno la quota).

Mediante appositi apparecchi restitutori è possibile effettuare il rilievo di dettaglio a partire dal modello opportunamente orientato, essendo possibile, grazie ai punti di inquadramento, calcolare la scala e l'orientamento, rispetto al riferimento cartografico scelto, del modello stesso.





● ● Restitutore STEREOSIMPLEX III della GALILEO.



● ● Schema costruttivo dello STEREOSIMPLEX III della GALILEO.

Il fotorestitutore vede stereoscopicamente il modello, ed azionando dei volantini può esplorarlo mediante una marca, seguendo linee e contorni di particolari sul terreno, ed azionando meccanismi che ne riportano il disegno su di un foglio di carta.

A seconda della scala della carta che si vuole produrre, si deve ricorrere ad immagini fotografiche riprese a quote diverse e con focali diverse. Come in topografia si può individuare le coordinate di un punto partendo da quelle note di un altro punto da cui si effettuano misure di angoli e di distanza, in fotogrammetria abbiamo visto che è indispensabile riconoscere ed individuare sulla coppia alcuni punti di cui siano conosciute le coordinate a terra (dato il limitato campo di operazione si utilizza effettuare i calcoli connessi alle triangolazioni aeree facendo riferimento a sistemi di coordinate piane, tipicamente coordinate Gauss Boaga).

E' possibile, a partire dalle coordinate piane  $x, y$  e  $x', y'$  relative ai due fotogrammi di punti omologhi, ricavare le coordinate piane  $X, Y$  e  $Z$ , riferite al suolo, dello stesso punto, disponendo di almeno tre punti (meglio però averne di più: in genere cinque) chiaramente visibili nei fotogrammi e di cui siano note le coordinate a terra.

Siccome è impossibile (o quanto meno dispendioso) disporre di punti di appoggio e di controllo chiaramente visibili nelle immagini e individuati con operazioni di rilevamento diretto a terra, si opera tramite il procedimento della triangolazione aerea, che a partire da un ristretto numero di punti noti, consente di rilevarne altri, adeguati al successivo orientamento delle coppie stereoscopiche, per via fotogrammetrica. Riassumendo, il ripristino dell'orientamento assoluto dei fotogrammi costituenti una coppia stereoscopica viene realizzato grazie alla determinazione diretta sul terreno di un opportuno insieme di punti di appoggio e di controllo, detti punti fotografici di riferimento. Tali punti devono essere chiaramente individuabili sulle immagini, e identificabili facilmente sul terreno, ed eventualmente integrati da opportuni punti ausiliari quotati.

A partire da un limitato numero di tali punti, è possibile operare un collegamento dei diversi modelli e delle diverse strisciate individuando (ed opportunamente segnalando sulle immagini, mediante foratura dei fotogrammi) su ciascuna coppia le coordinate modello di punti compresi nelle zone di sovrapposizione, ed

effettuando l'equivalente delle operazioni di compensazione nel caso delle reti trigonometriche (che si chiama aerotriangolazione spaziale) si ottengono le coordinate terreno dei punti di passaggio tra modelli. Esistono diverse metodologie di aerotriangolazioni spaziali, messe a punto da studiosi come F.Ackermann o C.W.King, ma non è il caso di dilungarsi oltre nelle tecniche complesse che sono alla base dell'utilizzo della aerofotogrammetria.

A questo punto, avendo individuato le coordinate terreno (geografiche o ad esse riportabili, se le operazioni di triangolazione aerea o di compensazione di reti trigonometriche sono state effettuate in un sistema di riferimento piano, come quello delle coordinate Gauss-Boaga) dei punti che vogliamo rappresentare sulla carta (vertici di edifici, poligonalmente costituenti gli assi o i bordi di strade o di fiumi, ecc.), è opportuno esaminare le diverse forme di rappresentazione cartografica, e studiarne le caratteristiche, che consentono di giungere alla produzione di una cartografia.

## Cartografia

Lo scopo della cartografia è quello di rappresentare sul piano (sulla carta) la superficie terrestre, affrontando e cercando di risolvere al meglio il problema fondamentale collegato al fatto che una superficie sferica o ellissoidica non è sviluppabile su una superficie piana.

Abbiamo già definito, in un punto  $P$  della superficie terrestre, il raggio di curvatura del meridiano  $\rho$  e la gran normale  $N$ , che sono i raggi di curvatura della superficie terrestre lungo due direzioni perpendicolari, e tali che la gran normale sia il raggio massimo di curvatura della superficie nel punto  $P$ , ed il raggio del meridiano il raggio di curvatura minimo.

Nel caso di una sfera i raggi di curvatura lungo due qualunque direzioni ortogonali tra loro coincidono: non è così nel caso dell'ellissoide.

Talvolta, per semplificare, trattiamo localmente l'ellissoide come se fosse una sfera di raggio  $R = \sqrt{N\rho}$ .

Una superficie piana ha i due raggi di curvatura coincidenti e di lunghezza infinita; un cono od un cilindro hanno un raggio di curvatura di lunghezza infinita, ed uno di lunghezza finita (nel cono il raggio di lunghezza finita sarà diverso da punto a punto, mentre per il cilindro esso è costante per tutti i punti e pari al raggio della sezione circolare del cilindro stesso).

Si definisce infine Curvatura Totale  $K$  di una superficie in un punto  $P$  il prodotto delle due curvature (intese come reciproci dei raggi:  $K = \frac{1}{R_{\max}} \frac{1}{R_{\min}}$ ), e vale il teorema di Gauss che afferma che due superfici sono

applicabili o sviluppabili l'una sull'altra se nei loro punti corrispondenti esse hanno la stessa curvatura totale.

In base a tale teorema si vede come la superficie di un cilindro o di un cono siano immediatamente sviluppabili su di un piano, in quanto tutte superfici con curvatura totale nulla, mentre sfera ed ellissoide,

presentando curvatura totale pari rispettivamente a  $K_{\text{sfera}} = \frac{1}{R^2}$  e  $K_{\text{ellissoide}} = \frac{1}{N\rho}$ , non risultano

sviluppabili su di una superficie piana. Una qualsiasi rappresentazione di una superficie sferica od ellissoidica su di un piano necessariamente introduce delle deformazioni, conseguenti alle dilatazioni o contrazioni che si manifestano, in misura diversa e variabile con continuità, da punto a punto della superficie.

Trattiamo ora i diversi aspetti delle rappresentazioni cartografiche facendo riferimento, per semplicità, ad una superficie sferica, ed introducendo di volta in volta le differenze dovute alla ellissoidicità della Terra (e ricordando che per estensioni superficiali di circa 100 Km di diametro si può considerare localmente sferica la superficie dell'ellissoide).

Un modo semplice di analizzare le deformazioni che si introducono utilizzando un metodo di rappresentazioni della sfera sul piano è quello di considerare come risulta trasformata la rete formata da paralleli e meridiani.

Poiché abbiamo detto che la figura sul piano di rappresentazione risulta necessariamente deformata rispetto a quella corrispondente sul terreno, è evidente che nella rappresentazione sul piano non possono essere conservate in tutte le possibili direzioni le distanze fra i vari punti (nel rapporto di scala prescelto).

Però per alcune particolari rappresentazioni, le distanze possono essere conservate secondo alcune direzioni (ad esempio lungo i meridiani o i paralleli, o lungo un ben preciso meridiano o parallelo): in tal caso la rappresentazione è detta **equidistante** o **lineare** lungo quelle particolari direzioni (lungo le quali risulta anche essere esatta la scala: scala lungo il meridiano centrale, scala equatoriale, ecc.).

Le rappresentazioni che mantengono inalterati gli angoli fra tutte le possibili direzioni (pur producendo variazioni nelle distanze fra i punti) sono definite **autogonali** (definizione data da Tissot), **isogoniche** od **ortoforni** (Germain) o **conformi** (Gauss): è quest'ultima la definizione oggi generalmente adottata e che utilizzeremo nel seguito.

La caratteristica della conformità (ovvero di preservare gli angoli) dovrebbe essere riferita, a stretto rigore, solo a figure infinitamente piccole, ma anche nelle applicazioni topografiche si possono considerare praticamente non deformati gli angoli nelle rappresentazioni conformi.

Definiamo inoltre **equivalente** o **autalica** una rappresentazione in cui vengano preservate le aree: tale condizione non può essere conservata senza considerevoli distorsioni, specialmente alla periferia, ed un piccolo cerchio sul terreno si trasformerà sul piano in un ellissoide, avente sempre la stessa area, ma di forma più o meno allungata a seconda della posizione del nostro cerchio rispetto alla zona a cui appartiene.

Si chiamano, infine, **afilattiche** quelle rappresentazioni che non sono conformi né autaliche, ma che presentano in minore misura sia i pregi che i difetti di entrambe.

Naturalmente una rappresentazione non può essere contemporaneamente conforme ed equivalente (perché conservare sia forma che area di una figura significherebbe eseguirne una rappresentazione perfettamente fedele).

E' possibile dare espressione analitica (nel senso di formule matematiche) alle diverse rappresentazioni (chiamiamole pure proiezioni, sia pure non proprio correttamente, in quanto non tutte si realizzano mediante una proiezione, in quanto tale termine è ormai di uso corrente): tali relazioni analitiche sono dette **formule di corrispondenza** od anche **equazioni della carta**, e stabiliscono la legge di corrispondenza tra le coordinate di punti sull'ellissoide e quelli corrispondenti sul piano.

Tali equazioni della carta sono dunque funzioni analitiche della latitudine e della longitudine di forma:

$$x = x(\varphi, \lambda) \quad y = y(\varphi, \lambda).$$

L'origine del sistema di coordinate è chiamato **centro della proiezione** o **centro della carta** (se ad esempio essa è data dall'intersezione dell'equatore con un meridiano, tale meridiano è chiamato **meridiano di riferimento** ed il centro di proiezione sarà definito mediante le sue coordinate geografiche  $O \equiv (\varphi_0, \lambda_0)$ ).

La **scala della carta** (sapendo che essa non è costante in tutti i punti della carta, ma è riferita solo ad alcuni punti o direzioni particolari) è il rapporto di riduzione delle lunghezze tra la carta ed il terreno (1:25000 indica che ad un mm della carta corrispondono 25000 mm sul terreno, ossia 25 metri).

Per valutare le distorsioni introdotte da una proiezione si introducono i **moduli di deformazione**.

Il **modulo di deformazione lineare** (indicato con la lettera greca  $\tau$ ) varia da punto a punto, ed in genere anche al variare della direzione, ed è ottenuto dal rapporto fra l'elemento lineare infinitesimo  $ds'$  sulla carta e quello, pure infinitesimo,  $ds$  sul terreno, per un rapporto di scala unitario, e, espresso in forma analitica, consente di valutare l'entità delle contrazioni e delle dilatazioni delle lunghezze in diversi punti della nostra carta.

Il **modulo di deformazione superficiale** od **areale** (indicato con la lettera greca  $\mu$ ) è il rapporto di due superfici infinitesime (sulla carta e sul terreno), ed anch'esso è funzione della posizione sulla carta.

Infine il **modulo di deformazione angolare** (indicato con la lettera greca  $\delta$ ) è la differenza fra l'angolo che una direzione generica, spiccata da un punto della carta, forma con una direzione arbitraria (scelta come origine per la misurazione degli angoli), e l'angolo corrispondente sul terreno: esso è funzione della posizione e della direzione, e per valutare la proiezione si fa in genere riferimento al valore della deformazione angolare massima.

Siccome i vari moduli di deformazione sono strettamente correlati tra loro, la conoscenza del solo modulo di deformazione lineare (ovvero della sua espressione analitica, che consente di valutarne il variare in funzione di posizione e direzione) consente di dare una adeguata descrizione delle distorsioni introdotte dalla particolare rappresentazione adottata.

Si definisce **convergenza del meridiano** in un punto l'angolo che la tangente alla rappresentazione del meridiano relativo a tale punto forma con l'asse delle ordinate della carta.

Citiamo qui anche l'**angolo di declinazione magnetica**, che è l'angolo che il Nord magnetico forma con il Nord geografico (dato che il polo Nord indicato da una bussola non coincide esattamente con il polo Nord definito dall'asse di rotazione terrestre).

Diversi criteri di classificazione delle rappresentazioni cartografiche consentono di evidenziarne aspetti specifici.

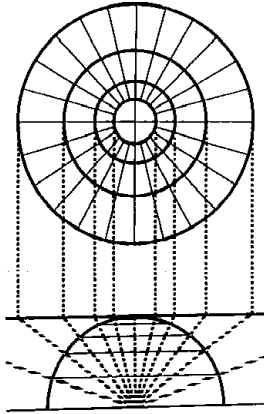
## Classificazione secondo la scala:

\_ **planisferi** quando rappresentano, senza soluzione di continuità, tutta la superficie terrestre;

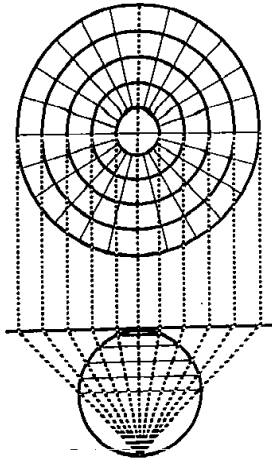
- \_ **mappamondi** quando la rappresentazione è effettuata sopra una sfera;
  - \_ **carte geografiche o generali** quando mostrano una grande estensione della superficie terrestre a piccolissima scala , fino ad 1:2000000;
  - \_ **carte corografiche** quando la rappresentazione è a scale comprese tra 1:1000000 e 1:200000;
  - \_ **carte topografiche** quando la rappresentazione è a scale comprese tra 1:100000 e 1:5000;
  - \_ **mappe** quando la rappresentazione è a scale comprese tra 1:4000 e 1:1000;
  - \_ **piante** per scale grandissime, da 1:500 a valori maggiori;
- a queste si aggiungono poi le **Carte Tecniche Regionali**, che sono rappresentazioni specificamente finalizzate ad interventi sul territorio, in scale da 1:10000 sino ad 1:2000.

## Classificazione in base al tipo di proiezione

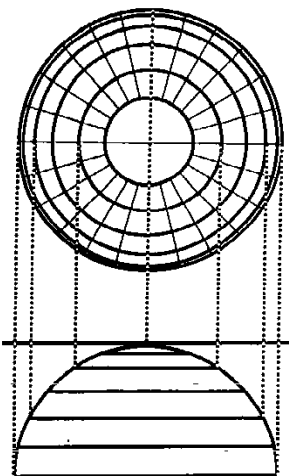
- ◆ Proiezioni prospettiche - Le proiezioni prospettiche sono realizzate mediante una prospettiva da un centro di proiezione su di un piano (chiamato quadro). In base alla posizione del centro di proiezione si distinguono in:



- Gnomoniche se il centro di proiezione è il centro della Terra;

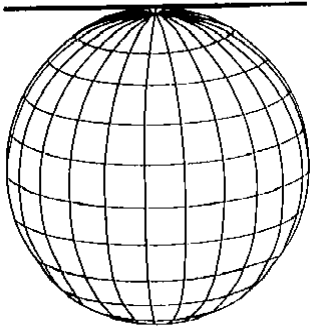


- Stereografiche se il c.d.p. giace sulla superficie della Terra;
- Scenografiche se il c.d.p. è compreso tra la superficie ed il centro della Terra;

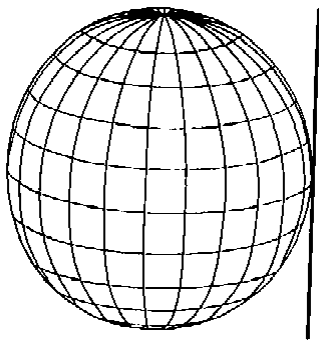


- Ortografiche se il c.d.p. è a distanza infinita dalla Terra.

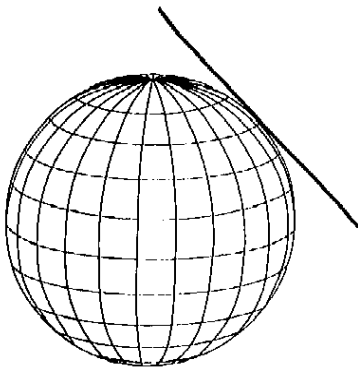
◆ In base alla posizione del quadro si distinguono in:



- Polari se il piano su cui si realizza la proiezione (il quadro) è tangente ad un polo;

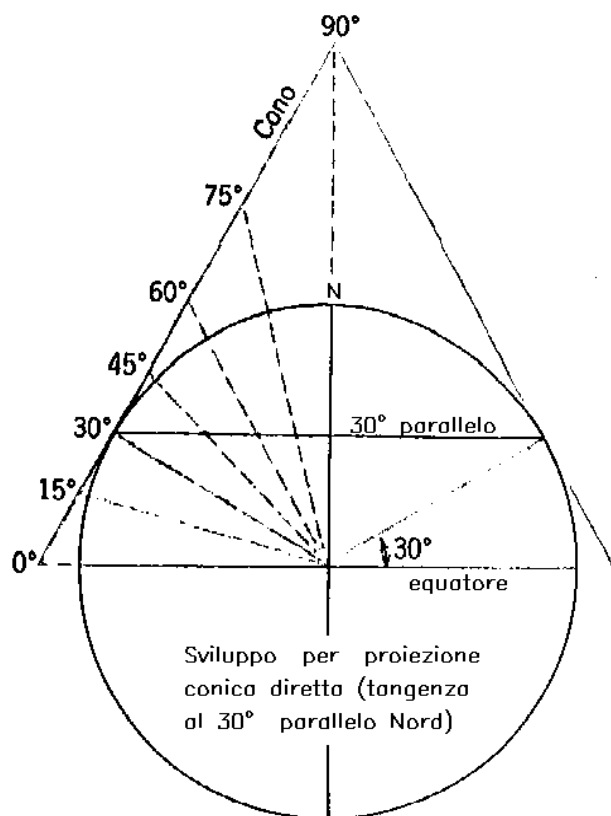


- Meridiane se il quadro è tangente all'equatore;



- Azimutali se il quadro è tangente ad un punto qualsiasi.

- ◆ Proiezioni per sviluppo: si dividono in proiezioni per sviluppo cilindriche e coniche:
  - Proiezioni per sviluppo cilindriche: se l'asse del cilindro coincide con l'asse di rotazione della Terra, abbiamo la proiezione per sviluppo cilindrica diretta; se l'asse del cilindro giace sul piano equatoriale, abbiamo la proiezione per sviluppo cilindrica inversa (o anche trasversa); nel caso che il cilindro sia disposto in una qualsiasi altra posizione, la proiezione si dice cilindrica obliqua.



- Proiezioni per sviluppo coniche: a seconda che l'asse del cono coincida con l'asse di rotazione terrestre, o appartenga al piano equatoriale, o sia disposto in una qualsiasi altra direzione, avremo rispettivamente una proiezione per sviluppo conica diretta, inversa od obliqua.

### Classificazione delle proiezioni secondo la forma del reticolato geografico.

A seconda della forma che assumono le rappresentazioni di paralleli e meridiani, possiamo citare la seguente classificazione delle più diffuse proiezioni cartografiche:

- ◆ proiezioni cilindriche, in cui i meridiani sono rappresentati da rette parallele, ed i paralleli ancora da rette parallele e perpendicolari a quelle che individuano i meridiani;
- ◆ proiezioni coniche, in cui i paralleli sono cerchi concentrici, ed i meridiani rette uscenti dal centro dei cerchi;
- ◆ proiezioni policoniche, nelle quali i paralleli sono rappresentati da archi di circonferenze non concentriche, ma aventi tutti i centri sopra una stessa retta.

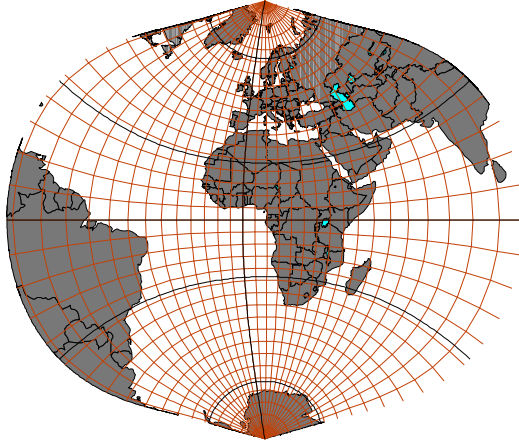
### Classificazione delle proiezioni secondo le deformazioni introdotte.

Abbiamo già analizzato le deformazioni che le rappresentazioni cartografiche possono presentare, e che consentono di adottare la seguente classificazione:

- ◆ carte autogonali o isogoniche o conformi o ortomorfe, quando gli angoli tra le direzioni spiccantisi dai singoli punti risultano inalterati, e di conseguenza è conservata la similitudine tra figure infinitesime corrispondenti dell'ellissoide e del piano;
- ◆ carte equivalenti o autaliche, quando vengono conservate le aree, pur presentando distorsione delle forme;
- ◆ carte equidistanti o lineari, quando il rapporto tra le lunghezze sul piano e sull'ellissoide è costante lungo particolari direzioni;
- ◆ carte afilattiche, quando, generalmente in misura limitata, sono presenti tutte le diverse possibili deformazioni.

## Esempi di proiezioni

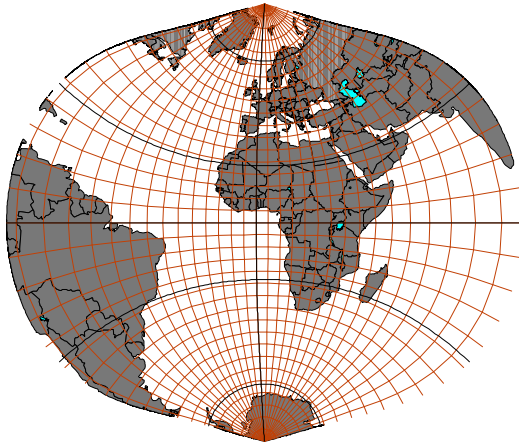
### Universal Transverse Mercator



La proiezione trasversa di Mercatore (che in realtà non fu definita da Mercatore, ma che a lui fa riferimento, adottando lo sviluppo su di un cilindro trasverso (cioè tangente alla terra lungo un meridiano), laddove Mercatore propose lo sviluppo su di un cilindro diretto (cioè tangente alla terra lungo l'equatore)) è una proiezione classificabile come conforme: infatti nelle immediate vicinanze del meridiano di tangenza possono

essere considerate conservate forme e angoli.. Le lunghezze, invece, risultano amplificate man mano che ci si allontana dal meridiano di tangenza.

### Gauss-Boaga

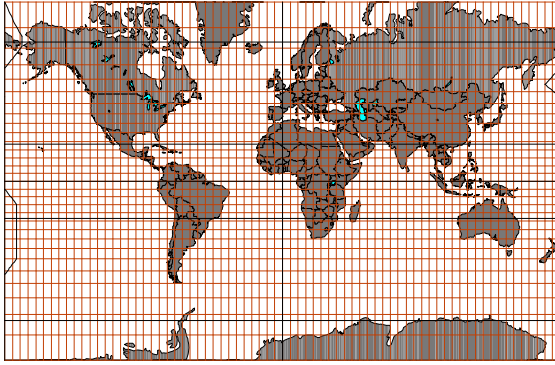


La proiezione di Gauss (in Italia chiamata di Gauss-Boaga, dal nome del prof.Boaga che la adottò per la produzione della cartografia dell'IGM) è in realtà identica a quella chiamata UTM: in realtà tale proiezione, adottata dagli Stati Uniti e dai paesi della NATO subito dopo la seconda guerra mondiale, non poteva, per chiari motivi, portare il nome di un "tedesco" quale Gauss era, e quindi fu ribattezzata "proiezione trasversa di Mercatore".

E', come detto sopra a proposito dell'UTM, una proiezione conforme.

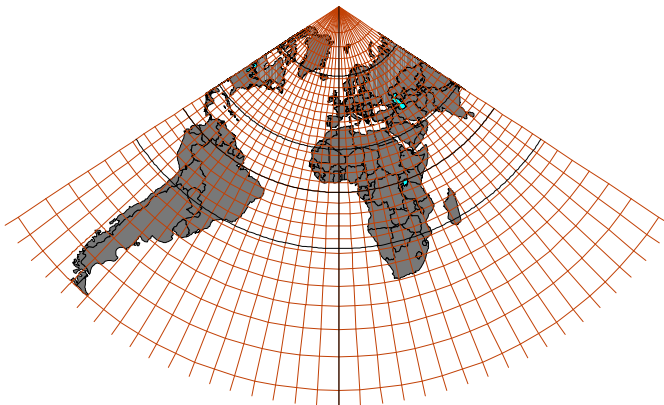


## Mercatore



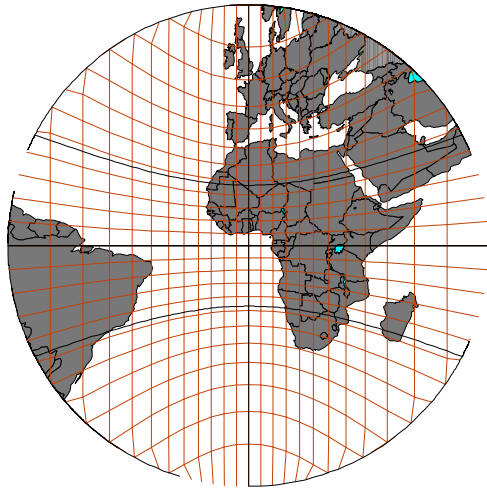
La proiezione di Mercatore deriva dallo sviluppo sul piano di un cilindro tangente l'equatore, su cui viene proiettata la superficie della terra. Tale proiezione risulta conforme, mentre non risultano conservate le lunghezze, che risultano amplificate man mano che ci si allontana dall'equatore.

## Lambert Conica Conforme



La proiezione conica di Lambert presuppone una proiezione della superficie della terra su di un cono tangente lungo un parallelo: risulta conforme (cioè preserva angoli e forme), ma produce aumenti o riduzioni delle distanze man mano che ci si allontana dal parallelo di tangenza.

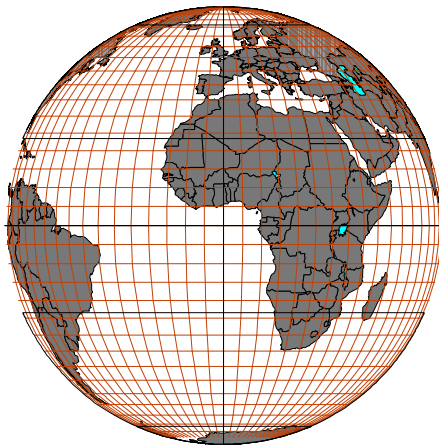
## Gnomonica



La proiezione gnomonica appartiene alla categoria degli sviluppi prospettici, nei quali la superficie terrestre viene proiettata su un quadro piano (nel caso della figura tangente alla terra in corrispondenza dell'incrocio tra l'equatore ed il meridiano di Greenwich - gnomonica meridiana). E' detta anche centrografica, perché il punto di vista coincide con il centro della terra; si chiama gnomonica perché la costruzione

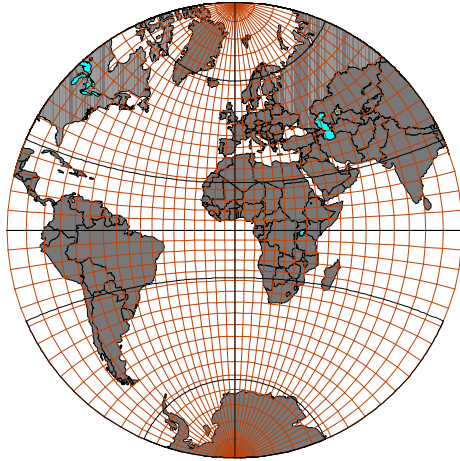
degli orologi solari, basata sull'ombra dello gnomone, è in sostanza la proiezione dei cerchi orari della sfera celeste, fatta su un piano da un punto considerato come centro. Nella proiezione gnomonica (unica a possedere tale caratteristica) le linee geodetiche sulla superficie terrestre risultano trasformate in segmenti rettilinei. La proiezione gnomonica appartiene alla categoria delle rappresentazioni afilattiche.

## Ortografica



In questo caso abbiamo la proiezione su di un piano tangente alla terra a partire da un punto posto all'infinito, e tale quindi che i raggi di proiezione siano paralleli tra loro. E' una proiezione afilattica (non vengono cioè preservati né angoli, né aree, né lunghezze). Come tutte le proiezioni su piano, è usata solo per cartografare il territorio adiacente al punto di tangenza con la superficie terrestre.

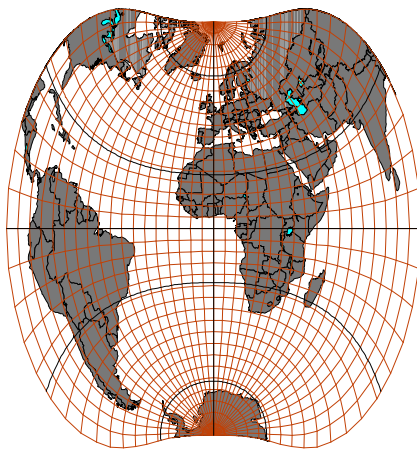
## Stereografica



La proiezione stereografica presuppone che il centro di proiezione sia sulla superficie terrestre, dalla parte diametralmente opposto al punto di tangenza del piano su cui avviene la proiezione (quadro). Nella figura è rappresentata una proiezione stereografica meridiana. In tale proiezione gli angoli fra direzioni qualsiasi sulla superficie terrestre sono rappresentate senza deformazioni: la rappresentazione è

conforme. Qualsiasi cerchio tracciato sulla sfera terrestre si proietta sempre in un cerchio sul quadro di rappresentazione. Nella stereografica meridiana (ed in quella obliqua) meridiani e paralleli sono rappresentati come archi di cerchio (linee rette il parallelo ed il meridiano di tangenza). Nella stereografica polare, i paralleli sono rappresentati come cerchi, ed i meridiani come linee rette spiccanti dal polo.

## Cassini-Soldner



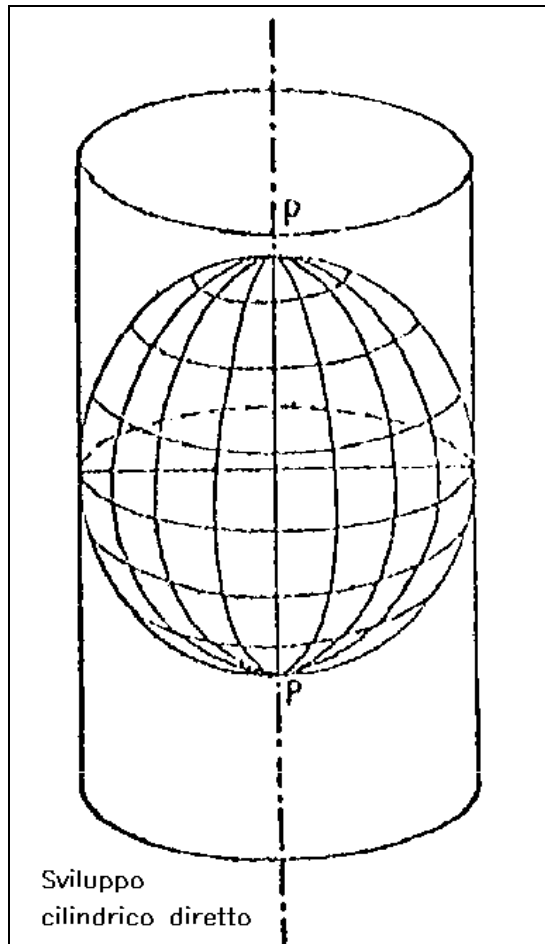
La rappresentazione di Cassini-Soldner è usata dal Catasto Italiano per disegnare le mappe catastali: preso un punto di riferimento  $O$  di coordinate geografiche  $\varphi_0$  e  $\lambda_0$ , le coordinate cartografiche  $x$  e  $y$  di un punto  $P$  di coordinate geografiche  $\varphi$  e  $\lambda$  coincidono con le coordinate geodetiche rettangolari  $X$  e  $Y$  di  $P$  rispetto ad  $O$ . La rappresentazione è afilattica, ma in prossimità del polo  $O$  risulta presentare un modulo di

deformazione areale sufficientemente prossimo ad 1, potendosi quindi considerare *praticamente equivalente*.

Descriviamo ora solo alcune rappresentazioni cartografiche, le più note o le più diffuse in Italia.

## Proiezione di Mercatore

È il risultato di uno sviluppo cilindrico diretto, opportunamente modificato per imporre alla proiezione la condizione di conformità.



Esso è dovuto all'olandese Gerardo Kramer (Mercatore), il quale nel 1569 pubblicò una mappa del mondo in tale sistema. In tale rappresentazione si considera di proiettare la superficie della Terra su un cilindro con asse coincidente con quello di rotazione terrestre.

Se il raggio di tale cilindro si assume uguale a quello del semiasse maggiore  $a$  dell'ellissoide, il cilindro risulta tangente al globo lungo l'equatore; se il suo raggio è di lunghezza minore, il cilindro risulterà secante il globo secondo due paralleli simmetrici rispetto all'equatore.

I meridiani si proiettano sul cilindro secondo le sue generatrici, per cui sviluppando il cilindro sul piano (possibile in quanto piano e cilindro presentano la stessa curvatura totale) essi risultano rappresentati da un fascio di rette parallele e, per un prestabilito incremento di longitudine, fra loro equidistanti.

Se il cilindro è considerato tangente alla Terra, l'equatore si sviluppa sul piano in vera grandezza; se invece il cilindro è secante, sono i paralleli di secanza che conservano sul piano la loro vera lunghezza.

I paralleli si proiettano sul cilindro secondo sezioni rette, le quali, sviluppate sul piano, costituiscono anch'esse un fascio di rette parallele ortogonali all'asse del cilindro e quindi alle generatrici che rappresentano i meridiani. Le distanze di tali sezioni rette dal piano equatoriale non sono però regolate da alcuna legge proiettiva, poiché vengono stabilite in base al criterio analitico di ottenere una rappresentazione conforme (si vuole cioè garantire che anche sulla carta, come sull'ellissoide, meridiani e paralleli

risultino tra loro ortogonali: ciò comporta però che archi di paralleli, che sull'ellissoide hanno lunghezze via via decrescenti man mano che ci si avvicina ai poli, ovvero per latitudini tendenti a  $\pm 90^\circ$ , siano rappresentati invece da segmenti di lunghezza costante, indipendentemente dalla latitudine).

Ne consegue che il rapporto tra arco di parallelo sul piano ed il corrispondente arco sull'ellissoide aumenta sempre di più con l'aumentare della latitudine, fino a diventare infinito in corrispondenza dei poli.

Ma la condizione di conformità esige, per ogni punto preso in esame, che il rapporto fra gli elementi lineari corrispondenti sulle due superfici sia costante, qualunque sia la loro direzione: perciò anche il rapporto esistente fra archi elementari di meridiano sulla carta e sull'ellissoide deve coincidere con quello esistente tra gli archetti di parallelo. Nel caso della proiezione di Mercatore gli archi elementari di meridiano, nel passaggio alla rappresentazione piana, devono risultare dilatati secondo lo stesso rapporto con cui sono dilatati gli archi di parallelo (e poiché il rapporto di dilatazione tende all'infinito all'avvicinarsi ai poli, al crescere della latitudine aumenta anche la lunghezza degli archi di meridiani, e dunque le zone terrestri comprese fra paralleli equidistanti sono dunque raffigurate da strisce piane sempre più alte, man mano che esse si allontanano dall'equatore).

Il modulo di deformazione lineare, che dipende dalla latitudine del punto da cui si spicca un arco di geodetica di lunghezza infinitesima, ma che non dipende dall'azimut della stessa, essendo la proiezione conforme, e che è crescente all'aumentare della latitudine (ovvero cresce allontanandosi dall'equatore, lungo

il quale non si hanno deformazioni) è dato dalla seguente equazione:  $\tau_\varphi = \frac{a}{N \cos \varphi}$ .

Le equazioni della carta sono

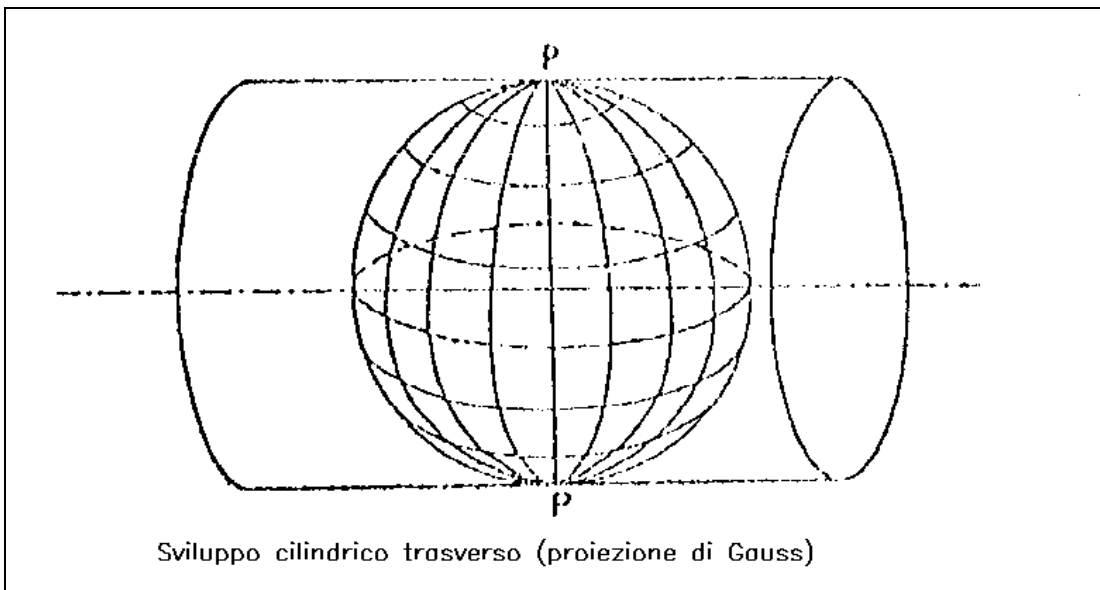
$$x = a(\lambda - \lambda_0)$$

$$y = a \left[ \ln \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right)} \right] - a \left[ e^2(\operatorname{sen} \varphi - \operatorname{sen} \varphi_0) + e^4 \frac{(\operatorname{sen}^3 \varphi - \operatorname{sen}^3 \varphi_0)}{3} + \dots \right]$$

La convergenza dei meridiani, nella rappresentazione di Mercatore, è costantemente nulla.

### Proiezione trasversa di Mercatore o proiezione di Gauss

È il risultato di uno sviluppo cilindrico inverso, opportunamente modificato per imporre alla proiezione la condizione di conformità.



In essa si suppone che la superficie cilindrica ausiliaria risulti tangente alla superficie terrestre lungo un meridiano, anziché secondo l'equatore (caso della proiezione di Mercatore).

Proiettando l'ellissoide terrestre sul cilindro, il meridiano di tangenza si identifica con la sezione retta del cilindro (ellisse meridiana: la sezione che si ottiene tagliando il cilindro lungo il meridiano di tangenza è un'ellisse, avente semiassi uguali a quelli dell'ellissoide), mentre l'equatore viene rappresentato da una coppia di generatrici opposte.

Se consideriamo la proiezione di un solo emisfero (inteso come metà dell'ellissoide, tagliato con un piano contenente l'asse polare e perpendicolare al meridiano di tangenza), e sviluppiamo poi sul piano il semicilindro corrispondente, il semimeridiano di tangenza è rappresentato da un segmento di retta di uguale lunghezza, di cui gli estremi sono i due poli terrestri, e l'equatore da una generatrice del cilindro.

Il meridiano centrale e l'equatore sono quindi rappresentati come due rette ortogonali, che possono essere adottate come sistema di assi cartesiani di riferimento.

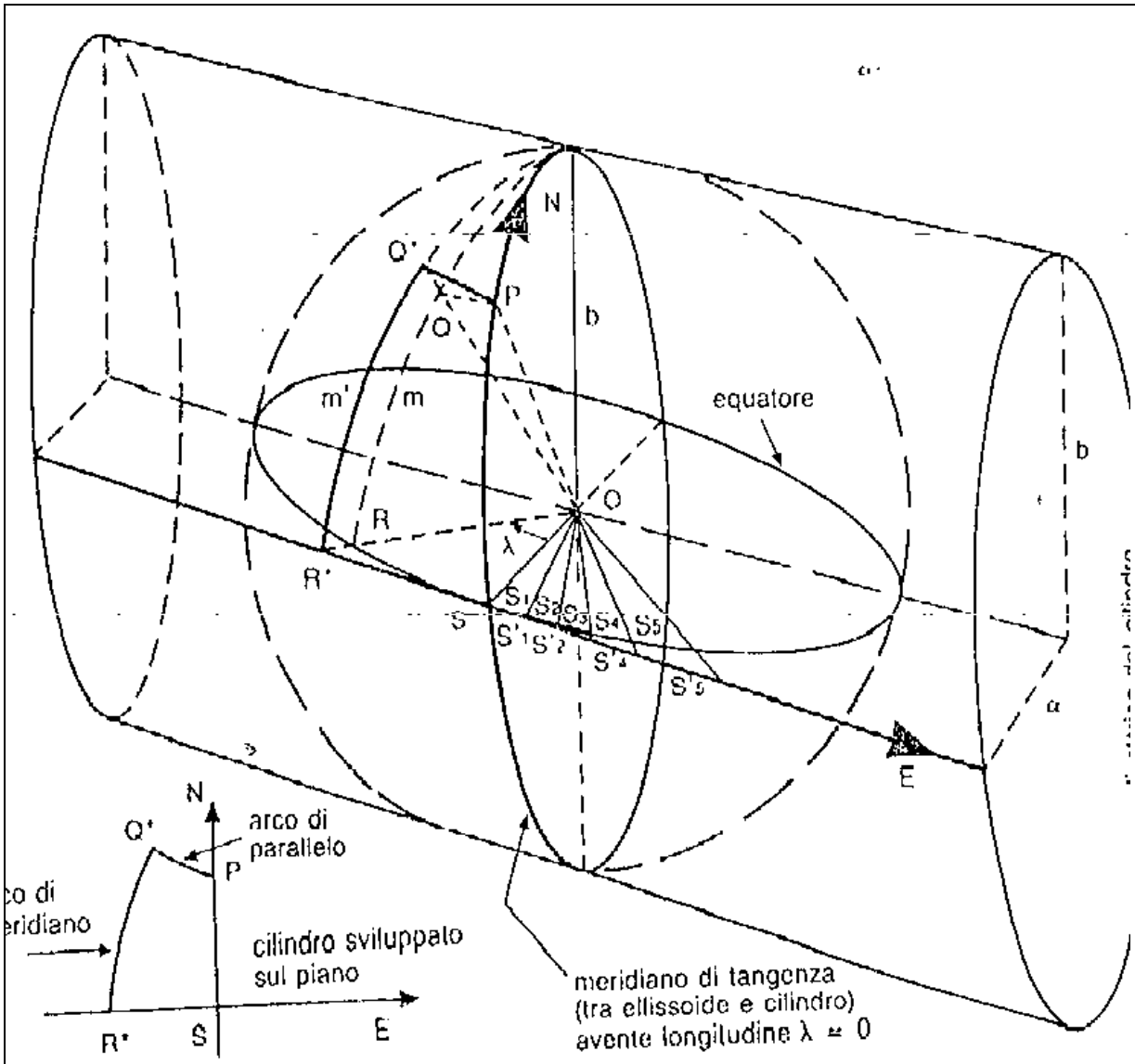
Gli altri meridiani, dovendo necessariamente passare per le immagini dei due poli, non possono che essere delle curve simmetriche rispetto alla retta immagine dell'equatore (fanno eccezione solo i due meridiani estremi di longitudine  $+90^\circ$  e  $-90^\circ$  rispetto al meridiano di riferimento, ciascuno dei quali è rappresentato da una coppia di semirette parallele all'equatore ed uscenti dai due poli).

Anche i paralleli, dovendo incontrare ad angolo retto tutti i meridiani, per soddisfare alla condizione di conformità, non possono essere né rettilinei né circolari, ma costituiscono una famiglia di curve dello stesso genere di quelle dei meridiani, ma simmetriche rispetto all'immagine rettilinea del meridiano centrale.

Come abbiamo visto il meridiano centrale e l'equatore sono rappresentati da linee rette, il meridiano centrale si sviluppa in vera grandezza (e dunque la rappresentazione risulta equidistante lungo il meridiano centrale), e conseguentemente sono conservate le distanze tra i paralleli solo in corrispondenza del meridiano centrale di longitudine  $\lambda_0$ .

Facendo riferimento ad una Terra di forma sferica, la rappresentazione trasversa di Mercatore può essere definita a partire da quella diretta, mediante una semplice trasformazione di coordinate operata sulla sfera.

Il problema però risulta analiticamente più complesso allorché si assuma la Terra ellissoidica: il merito di Gauss fu appunto quello di aver dato soluzione a tale problema. Le formule di corrispondenza tra l'ellissoide ed il piano nel caso della rappresentazione conforme di Gauss sono abbastanza complesse, e sono date in forma di sviluppi in serie, ottenute partendo dall'equazione generale delle rappresentazioni conformi ed imponendo la condizione particolare che il meridiano centrale, lungo il quale il cilindro è tangente alla superficie terrestre, si sviluppi sul piano secondo una retta e senza alterazioni.



Come nel caso della rappresentazione di Mercatore diretta, anche nella rappresentazione di Gauss la condizione di conformità impone che la dilatazione cui sono assoggettati gli archi di meridiano man mano che ci si allontana da quello di riferimento corrisponda alla dilatazione degli archi di parallelo nella stessa area infinitesima dell'ellissoide.

Il modulo di deformazione lineare, che dipende dalla latitudine del punto da cui si spicca un arco di geodetica di lunghezza infinitesima, ma che non dipende dall'azimut della stessa, essendo la proiezione conforme, e che è crescente all'aumentare della longitudine (ovvero cresce allontanandosi dal meridiano centrale, lungo il quale non si hanno deformazioni) è dato dalla seguente equazione:

$$\tau_{\varphi, \lambda} = 1 + \frac{(\lambda - \lambda_0)^2 \cos^2 \varphi}{2} (1 + e'^2 \cos^2 \varphi).$$

Le equazioni della carta sono (essendo ora l'asse delle x coincidente con la rappresentazione del meridiano centrale, e l'asse delle y coincidente con la rappresentazione dell'equatore):

$$\Delta\lambda = (\lambda - \lambda_0)$$

$$\xi = \operatorname{arc\,tanh}(\cos\varphi \operatorname{sen}\Delta\lambda) = \frac{\log\left(\frac{1 + \cos\varphi \operatorname{sen}\Delta\lambda}{1 - \cos\varphi \operatorname{sen}\Delta\lambda}\right)}{2}$$

$$\zeta = \operatorname{arc\,tan}\left(\frac{\tan\varphi}{\cos\Delta\lambda}\right)$$

$$\eta = e' \cos\varphi$$

$B_\varphi =$  lunghezza dell'arco di meridiano dall'equatore alla latitudine  $\varphi =$

$$= \int_0^\varphi \rho d\varphi = \int_0^\varphi \frac{a(1 - e^2)d\varphi}{\sqrt{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2\varphi)^2}}$$

$$x = B_\varphi + (\zeta - \varphi)N_\varphi \left(1 + \frac{\eta^2 \xi^2}{2}\right)$$

$$y = \xi N_\varphi \left(1 + \frac{\eta^2 \xi^2}{6}\right)$$

In un punto P della proiezione, la trasformata del meridiano è una linea curva, che forma un angolo con la parallela all'asse delle X, passante per quel punto, detto **convergenza del meridiano**: la convergenza dei meridiani, nella rappresentazione di Gauss, è data da  $\gamma = \lambda \operatorname{sen}\varphi + \frac{1}{3}\lambda^3 \operatorname{sen}\varphi \cos^2\varphi$

### Sistema di rappresentazione cartografica catastale (Cassini-Soldner)

A partire dalla fine del secolo scorso, finalizzata al riordinamento dell'imposta fondiaria, ha avuto inizio la produzione di cartografia catastale, curata dalla Direzione generale del Catasto e dei servizi tecnici erariali. Essa viene di norma redatta alla scala di 1:2000, ma può comportare anche rilevamenti a scala 1:1000, allorché il frazionamento delle particelle risulti molto minuto, od a scala 1:4000, per aree che presentino particelle superiori ai 5 ettari di superficie.

Il sistema di rappresentazione cartografica inizialmente scelto è stato quello della rappresentazione cilindrica trasversa di Soldner, adottando l'ellissoide di Bessel.

Nel sistema di Cassini-Soldner si assumono come coordinate cartesiane della rappresentazione piana del punto generico P (coordinate rettilinee di Cassini-Soldner) le lunghezze rettificate delle sue coordinate geodetiche rettangolari. Possiamo dunque schematizzare la rappresentazione di Cassini-Soldner considerando le generatrici di un cilindro tangente all'ellissoide lungo un meridiano centrale (il meridiano passante per il centro di sviluppo) come rappresentazione delle corrispondenti linee geodetiche perpendicolari allo stesso meridiano centrale. Infatti sviluppando il cilindro sul piano, possiamo adottare come assi cartesiani di riferimento la retta su cui si sviluppa il meridiano (asse X) e la retta ad essa perpendicolare e passante per il punto adottato come centro di sviluppo.

Le coordinate di un generico punto P del terreno, in questa rappresentazione, sono individuate dalla lunghezza della geodetica condotta da tale punto normalmente al meridiano centrale, e dalla lunghezza dell'arco di meridiano compreso fra il centro di sviluppo ed il piede di tale geodetica.

Il calcolo delle relative grandezze può essere effettuato nell'ambito del campo geodetico (e dunque sostituendo all'ellissoide una sfera) facendo riferimento alla latitudine del centro di sviluppo, che diviene così il punto di tangenza della sfera locale e centro di emanazione del sistema cartografico stesso.

Secondo tale definizione, le due coordinate X e Y, dette coordinate geodetiche rettangolari, finiscono implicitamente per individuare le lunghezze dei lati di un triangolo geodetico ellissoidico, rettangolo nel punto di intersezione della linea geodetica Y con il meridiano centrale, avente l'ipotenusa s inclinata dell'azimut  $\alpha$  rispetto all'origine.

Le equazioni della carta sono dunque:

$$Y = s * \text{sen}(\alpha') = s * \text{sen}(\alpha - \epsilon) \quad \alpha' = \alpha - \epsilon$$

$$X = s * \text{sen}(\gamma') = s * \text{cos}(\alpha - 2\epsilon) \quad \beta' = \frac{\pi}{2} - \epsilon$$

$$\gamma' = \frac{\pi}{2} - (\alpha - 2\epsilon) \quad \epsilon = \frac{s^2 \text{sen} \alpha \text{cos} \alpha}{6\rho N}$$

che abbiamo già visto nel capitolo relativo alla Geodesia.

In questo sistema di rappresentazione cartografica, nel passaggio dall'ellissoide al piano della carta, restano invariate tutte le distanze misurate lungo il meridiano centrale, mentre risultano allungate tutte le altre lunghezze, e dunque la rappresentazione risulta essere afilattica, ovvero tale da deformare, in maniera limitata, lunghezze, angoli e superfici.

Il modulo di deformazione lineare ed il modulo di deformazione areale sono dati da:

$$\tau = 1 + \frac{Y^2 \text{cos}^2 \alpha}{2\rho N} \quad \mu = 1 + \frac{Y^2}{2\rho N}, \text{ da cui si vede che per lunghezze di geodetiche tali da comportare}$$

valori di Y di circa 70 Km si ottengono moduli di deformazione areale sufficientemente prossimi ad 1, tanto da poter considerare la rappresentazione di Cassini-Soldner come praticamente equivalente (caratteristica che risulta di particolare interesse per le applicazioni della cartografia catastale).

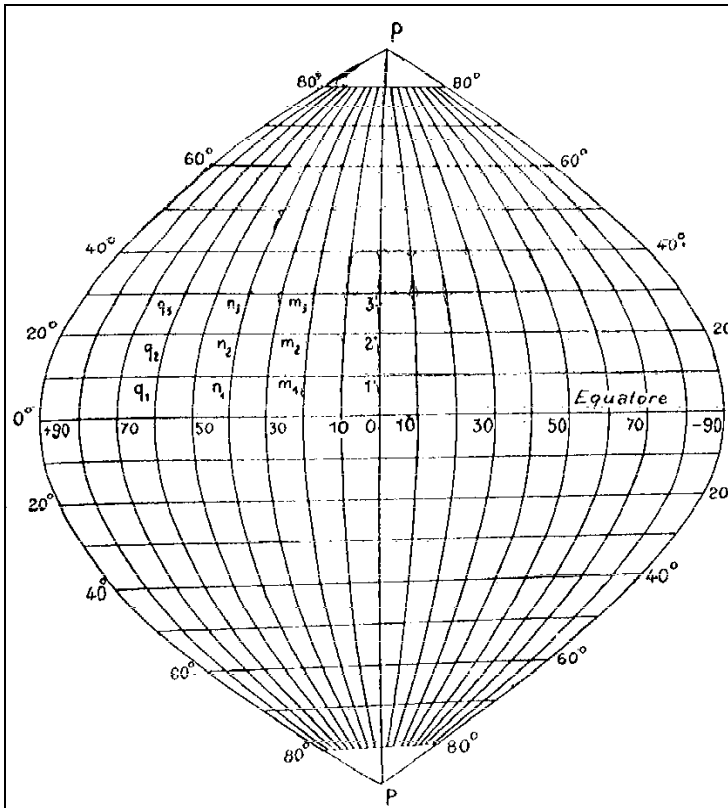
### La rappresentazione di Sanson-Flamsteed o proiezione naturale

Questo sistema di proiezione, che è stato usato per il rilievo del territorio nazionale alla scala 1:25000 e per la costruzione delle carte derivate alle scale 1:50000 e 1:100000, venne usato per la prima volta dal Sanson (1600-1667), ma più comunemente va sotto il nome di Flamsteed, che però ne fece uso più tardi (1729).

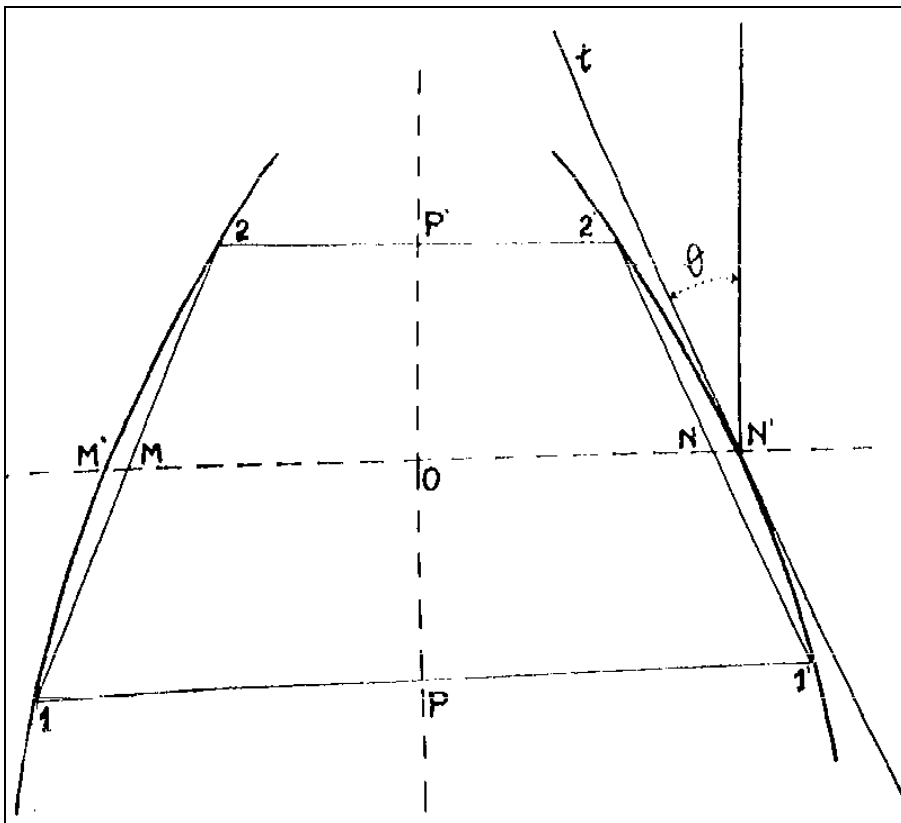
E' chiamata anche proiezione naturale: si immagina l'ellissoide avvolto da un cilindro tangente lungo l'equatore, e si proiettino sulla superficie di tale cilindro i vari paralleli, in modo che le loro distanze dal piano equatoriale risultino esattamente uguali alle lunghezze degli archi di meridiano compresi tra l'equatore ed i paralleli stessi (come se si potessero staccare i meridiani dall'ellissoide, e poggiarli sul cilindro, orientati come le generatrici, e comunque sempre fissati, in un estremo, all'equatore).

In realtà, allorché si sviluppa il cilindro su un piano, i meridiani non vengono trasformati in un fascio di rette parallele tra loro ed ortogonali alle rette che rappresentano i paralleli (come sarebbe se i meridiani sviluppati sul cilindro fossero orientati come le generatrici), ma si fa in modo che le rappresentazioni sul piano di due meridiani distino tra loro esattamente per la lunghezza dell'arco di parallelo da tali meridiani delimitato (e naturalmente tale arco di parallelo è di lunghezza via via minore al crescere della latitudine).





L'unico meridiano che si rappresenta con una retta ortogonale all'equatore ed ai paralleli è quello centrale della zona rappresentata sulla carta. Si verifica inoltre che la rappresentazione del reticolato geografico è simmetrica rispetto all'equatore ed al meridiano centrale, e che la curvatura dei meridiani aumenta con l'aumentare della differenza di longitudine rispetto al meridiano centrale. Date le sue caratteristiche di costruzione, il sistema in esame risulta equidistante lungo la linea del meridiano centrale e lungo tutti i paralleli.



Le formule di corrispondenza sono:

$$y = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \rho d\varphi = \rho_{\text{medio}} (\varphi - \varphi_0) \cong \rho_0 (\varphi - \varphi_0)$$

$$x = r(\lambda - \lambda_0) = N \cos \varphi (\lambda - \lambda_0) \cong N(\lambda - \lambda_0) \cos \left( \frac{y}{\rho_0} - \varphi_0 \right)$$

dove  $O=(\lambda_0, \varphi_0)$  è l'origine del riferimento della proiezione posta all'intersezione del meridiano centrale e del parallelo di latitudine  $\varphi_0$  (eventualmente l'equatore).

Il modulo di deformazione lineare, non essendo la rappresentazione conforme (introduce cioè deformazioni nella trasformazione degli angoli), dipende dalla direzione dell'arco infinitesimo di geodetica, e risulta massimo per azimut di  $45^\circ$  e di  $135^\circ$ , nel qual caso vale:

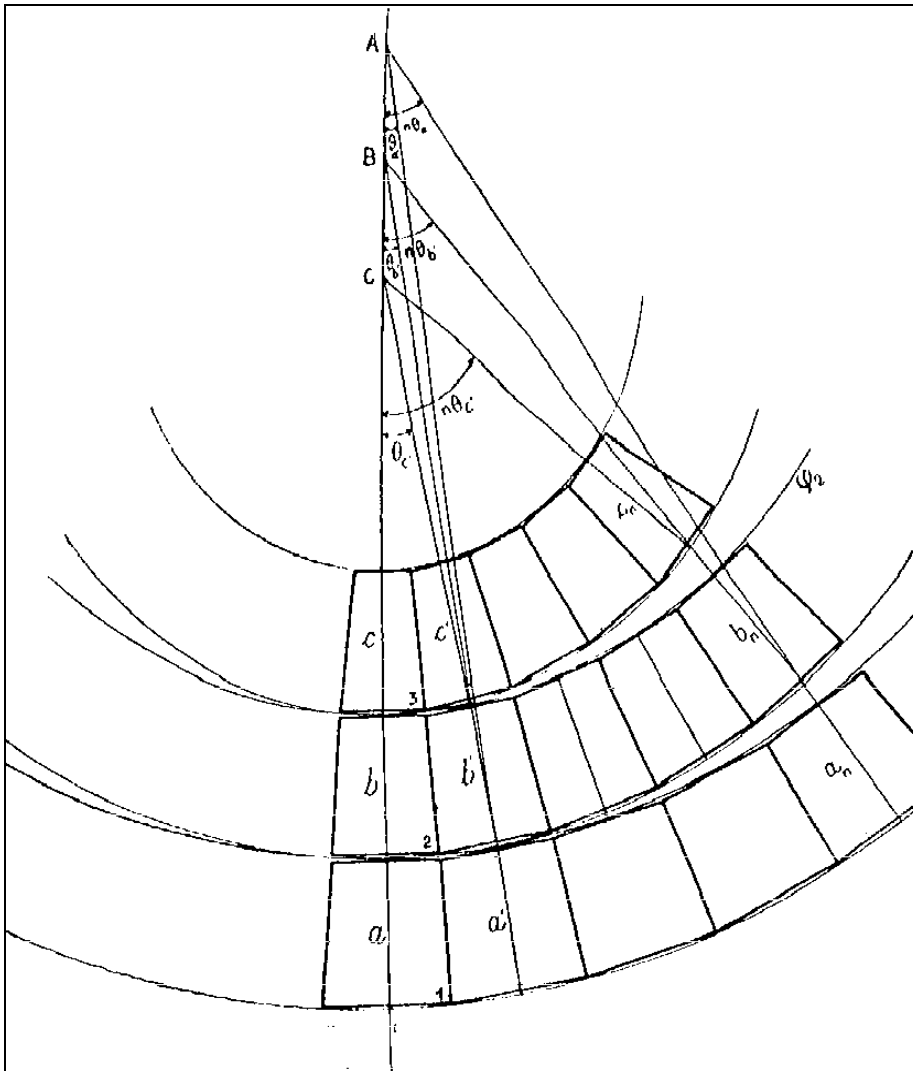
$$\tau_{\lambda, \varphi, \alpha} = 1 - \frac{\lambda - \lambda_0}{2} \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} 2\alpha \Rightarrow \tau_{\lambda, \varphi, \max} = 1 \mp \frac{\lambda - \lambda_0}{2} \operatorname{sen} \varphi.$$

### **La cartografia in Italia**

Volendo accennare brevemente alla storia della cartografia in Italia, e solo a quella più recente, è probabilmente utile rifarsi a quando, dopo l'unità di Italia, lo Stato decise di promuovere la formazione di una nuova cartografia omogenea per tutte le regioni, integrando in una prima fase e poi sostituendo i materiali cartografici dei precedenti stati: Piemonte e Sardegna (1:50000 e 1:250000), Lombardo-Veneto, Emilia, Romagna e Toscana (1:86400 e 1:200000 per il Granducato di Toscana), Due Sicilie (1:425000 e 1:111000 per il Regno di Napoli).

Si ritenne allora opportuno di procedere alla formazione di carte in scala 1:25000 (tavole) e 1:50000 (quadranti) che servissero alla successiva formazione della **Carta fondamentale d'Italia** in scala **1:100000** (che venne completata nel 1900).

La rilevazione, che era iniziata con il sistema di Bonne, fu proseguita dal 1875 nel sistema di proiezione di Sanson-Flamsteed (o proiezione naturale), decidendo di costruire un **sistema cartografico policentrico**. Fu cioè deciso di formare fogli di cartografia 1:100000, ciascuno riferito ad un proprio sistema di assi cartesiani, dati dall'immagine di un parallelo centrale e di un meridiano centrale, e di ampiezza di  $20'$  di latitudine e di  $30'$  di longitudine (anche la cartografie in scala 1:50000 e 1:25000 venivano rilevate come fogli a sé stanti, di ampiezza di  $15' \times 10'$  e di  $7'30'' \times 5'$  rispettivamente).



Le deformazioni lineari ed areali connesse a tale tipo di proiezione erano decisamente ridotte: esistevano però due gravi svantaggi:

- \_ i fogli non erano mosaicabili tra loro, per inquadrare estensioni più vaste,
- \_ le deformazioni angolari, agli estremi di ciascun foglio, superavano i 5';

dunque tale cartografia non era adeguata per le esigenze dell'artiglieria: nel 1940 l'Istituto Geografico Militare pensò, allora, di sostituire la rappresentazione policontrica naturale con un'altra che consentisse di dividere il territorio nazionale nel minor numero di zone, riferendo ad un unico sistema di assi cartesiani tutti gli elementi superficiali compresi nella stessa zona. Fu scelto dunque di utilizzare una rappresentazione conforme, adeguata all'effettuazione dei calcoli di triangolazione

ed alle esigenze militari: il prof. Giovanni Boaga, allora geodeta capo dell'I.G.M., propose la rappresentazione di Gauss, suddividendo il territorio nazionale in due fusi di 6° di ampiezza in longitudine, mediante l'adozione di (due, uno per ciascun fuso) cilindri secanti, garantendo così:

- \_ le precisioni prescritte negli ordinari calcoli di triangolazione;
  - \_ di non modificare i procedimenti topografici del rilievo;
  - \_ di utilizzare in pieno, e questa è la ragione più importante, tutto il materiale esistente in proiezione naturale (infatti ancora per fusi di 6° di ampiezza le deformazioni introdotte dalla proiezione naturale risultavano ancora compatibili con gli errori di graficismo accettati nella nuova rappresentazione di Gauss, e dunque si procedette alla sovrapposizione su ciascuna tavoletta in scala 1:25000 di un reticolato kilometrico (più o meno deformato) di rette parallele agli assi X e Y del nuovo sistema cartesiano (uno per ciascun fuso)).
- In corrispondenza della adozione del nuovo sistema di rappresentazione, si decise anche di sostituire l'ellissoide di Bessel, orientato a Genova Osservatorio (Istituto Idrografico della Marina) e con longitudini contate a partire dal meridiano di Roma Monte Mario, che risultava avere coordinate rispetto a Genova:

$$\Phi_{\text{Roma/Bessel-GE}} = 41^{\circ}55'24.399''$$

$$\lambda_{\text{Roma/Bessel-GE}} = 3^{\circ}31'51.131''$$

con l'ellissoide internazionale, o di Hayford, orientato a Roma Monte Mario, che sul nuovo ellissoide aveva dunque le coordinate:

$$\Phi_{\text{Roma/Hayford-Ro}} = 41^{\circ}55'25.510''$$

$$\lambda_{\text{Roma/Hayford-Ro}} = 0^{\circ}0'0.0''$$

In tal modo i due meridiani adottati come riferimento per i fusi Est ed Ovest risultavano avere longitudine:

$$\lambda_{\text{Hayford-Ro/Fuso\_EST}} = +2^{\circ}32'51.600''$$

$$\lambda_{\text{Hayford-Ro/Fuso\_OVEST}} = -3^{\circ}27'08.400''$$

La cartografia catastale, che era nata basandosi sulla rappresentazione di Cassini Soldner, ed appoggiata sull'ellissoide di Bessel orientato a Genova o a Castanea delle Furie, e di volta in volta centrata su di un punto particolare (più di trenta diversi centri di sviluppo), le cui coordinate però non risultavano compensate rispetto alla rete trigonometrica, continuò a essere sviluppata secondo tali modalità ancora per diverso tempo, ma recentemente, in occasione di rinnovi per vaste zone, si è ritenuto di adottare la rappresentazione di Gauss-Boaga sull'ellissoide internazionale. Purtroppo la cartografia catastale e quella Gauss-Boaga risultano essere assolutamente incompatibili, e materiale digitalizzato sull'una non può essere adeguatamente sovrapposto sull'altra.

Negli anni '50 l'I.G.M. ha partecipato alla ricompensazione a livello europeo delle reti geodetiche, adottando poi, sempre per l'ellissoide internazionale, un nuovo centro di emanazione (od orientamento) corrispondente ad un vertice situato in Germania.

Nell'ambito del nuovo sistema di coordinate geografiche adottato, chiamato ED50, le longitudini si misurano a partire dal meridiano di Greenwich, e Roma risulta avere le coordinate:

$$\varphi_{\text{Roma/Hayford-Green}} = 41^{\circ}55'31.487''$$

$$\lambda_{\text{Roma/Hayford-Green}} = 12^{\circ}27'10.933''$$

La proiezione di Gauss, riferita al nuovo sistema geodetico, fa riferimento sempre a due fusi di ampiezza di 6°, chiamati fuso 32 e fuso 33, e centrati sui meridiani di longitudine

$$\lambda_{\text{Hayford-Green/Fuso\_32}} = +9^{\circ}0'0.0''$$

$$\lambda_{\text{Hayford-Green/Fuso\_33}} = +15^{\circ}0'0.0''$$

Sia nel sistema Nazionale che nel sistema ED50 (le coordinate piane ottenute mediante rappresentazione di Gauss sono rispettivamente chiamate Gauss-Boaga e U.T.M.) esistono delle zone di sovrapposizione tra le cartografie realizzate nei due fusi (per le longitudini comprese tra -0°30' e 0° da Roma Monte Mario, ovvero 11°57'08.4" e 12°27'08.4" da Greenwich), in modo da consentire calcoli sia con punti situati nel fuso Est che con punti situati nel fuso Ovest (tra le coordinate di punti appartenenti a fusi diversi non vi è alcuna relazione!).

Nel sistema Gauss Boaga furono adottate delle **false origini** in modo da evitare di avere coordinate piane negative (per il fuso Ovest 1500 Km, e per il fuso Est 2520 Km); nel sistema UTM le false origini corrispondono invece a 500 Km sia per il fuso 32 che per il fuso 33.

Sia nel sistema Gauss-Boaga che nel sistema UTM si fa riferimento ad una rappresentazione di Gauss a cilindro secante, di modo che si abbia equidistanza in occasione dei due meridiani che secano il cilindro, e tra essi e al loro esterno risultino limitate le deformazioni lineari introdotte dalla trasformazione.

Tale scelta si esprime dicendo che fu adottato un fattore di scala **m=0.9996**, che significa che in corrispondenza del meridiano centrale del fuso le distanze risultano contratte di 4/10000 (una lunghezza sul terreno di 100 metri viene ad essere rappresentata da una lunghezza sulla carta equivalente a 99.96 metri), mentre ai bordi del fuso esse risultano dilatate di 4/10000 (cioè a 100 metri corrisponderanno 100.04 metri); anche il modulo di deformazione lineare risulta ridotto dello 0.04%.

L'introduzione di tale fattore di scala equivale ad aver utilizzato un cilindro avente raggio interno corrispondente al 99.96% di quello che avrebbe dovuto avere per risultare tangente all'ellissoide, e dunque risulta secante in corrispondenza di due meridiani simmetrici rispetto a quello adottato come centrale.

Alla cartografia ufficiale (I.G.M.I. e Catasto) si aggiunge la Cartografia Tecnica, realizzata per applicazioni tecniche e progettazioni che richiedono maggiori dettagli, in scale 1:10000 e 1:5000, secondo i criteri originariamente suggeriti dalla Commissione Geodetica Italiana, generalmente realizzata in coordinate Gauss-Boaga, anche se inquadrata nel sistema unificato ED50 (cioè i singoli elementi 1:5000 corrispondono ad 1/4 di una sezione 1:10000, che a sua volta risulta essere 1/16 di un foglio in scala 1:50000). Tale cartografia viene generalmente prodotta dalle amministrazioni regionali, dalle province autonome e dalla Cassa per il Mezzogiorno.

Talvolta viene prodotta anche una **ortofotocarta** in scala 1:10000 e nel taglio della carta tecnica regionale, che è una immagine fotografica ortoproiettata (cioè raddrizzata localmente mediante anche l'utilizzo di un modello numerico dell'altimetria dell'area), arricchita successivamente mediante il disegno in

sovraimposizione di curve di livello, punti quotati, toponomastica, ed altre indicazioni utili a consentirne un utilizzo anche in alternativa alla carta tecnica disegnata.

La recente notevole disponibilità di elaboratori elettronici e di sofisticati strumenti di restituzione grafica controllati da computers ha reso particolarmente interessante l'ipotesi di disporre di Cartografia Numerica.

### **Produzione di una cartografia**

Per legge, in Italia esistono tre produttori della cartografia ufficiale dello stato: l'Istituto Geografico Militare, il Catasto e l'Istituto Idrografico della Marina.

La produzione I.G.M.I. si concentra soprattutto nella nota cartografia in scala 1:25000, oltre a quella più datata in scala 1:100000 ed a quella in scala 1:50000 che ancora non copre tutto il territorio nazionale.

Il Catasto produce cartografia a grande scala (1:2000, ma talvolta anche 1:500, e 1:4000 allorché le aree interessate presentino parcellamenti superiori ai 5 ettari), per una conoscenza dettagliata a fini fiscali del territorio e della sua ripartizione in unità elementari (le particelle) di cui sono conservate diverse informazioni, tra cui quelle relative alla proprietà. La cartografia catastale non riporta informazioni altimetriche (non vi sono curve di livello o punti quotati), ed in alcune zone risulta poco aggiornata (ad esempio per quanto riguarda la viabilità).

L'Istituto Idrografico della Marina opera soprattutto nella rilevazione delle coste e nella misura della profondità dei fondali marini (curve batimetriche), producendo cartografia finalizzata alla navigazione.

Il Catasto sta procedendo alla digitalizzazione della sua cartografia, e per diverse zone d'Italia sono disponibili i dati cartografici in forma numerica (che purtroppo sono venduti a prezzi elevati). L'I.G.M. sta procedendo alla digitalizzazione di idrografia e orografia dalla sua cartografia in scala 1:25000 (ed anche questi dati vengono venduti a prezzi elevati).

Oltre agli organi cartografici ufficiali dello stato, altri produttori di cartografia operano per rendere disponibili cartografie alle scale più varie: si va dall'Istituto Geografico De Agostini, al Touring Club Italiano, all'Automobil Club Italiano, a moltissime ditte produttrici di cartografie a fini turistici (piantine di città, itinerari turistici), e a moltissime ditte che producono cartografia per conto di società (ENEL, FF.SS., ecc.) o di enti (Regioni, Province, Comuni, Compensori di Bonifica, ecc.).

Ultimamente Regioni, Province e Comuni sono molto attivi nella produzione di cartografia, particolarmente a grandi scale (a scale molto dettagliate), necessaria per le attività di pianificazione, gestione e progettazione sul territorio.

Ad esempio a inizio '92 la Regione Toscana aveva realizzato:

- 1487 elementi di Carta Tecnica Regionale disegnata 1:5000, per 1298405 ettari, pari al 56% del territorio regionale;
- 379 sezioni di Carta Tecnica Regionale disegnata 1:10000, pari al 52% della superficie regionale;
- 310 sezioni di Carta Tecnica Regionale versione Ortofotocarta, pari al 44% della superficie regionale, che vanno a sommarsi a quelle disegnate, raggiungendo così la copertura pressoché totale dell'intera regione;
- 576 sezioni di Mosaici Catastali 1:10000, pari all'80% del territorio regionale;
- 2128 elementi di Mosaici Catastali 1:5000, pari all'80% del territorio regionale;
- circa 216000 ettari di cartografia in scala 1:2000 di centri abitati per un totale di 200 comuni interessati (di cui circa 52000 ettari di carta numerica a copertura dell'intera area metropolitana Firenze-Prato-Pistoia);
- una serie di carte d'insieme in scala 1:250000;
- più di 50000 fotogrammi, provenienti da campagne di rilevamento aerofotografico per la realizzazione degli allestimenti cartografici, oltre che da riprese aeree speciali (volo Arno, volo zone archeologiche, sezione Toscana del volo Italia ad alta quota);
- immagini da satellite.

Per il 2° piano pluriennale, relativo al quinquennio 92-96, la Regione Toscana ha deciso di dotarsi di:

- nuova cartografia numerica alla piccola scala (1:25000, 1:50000 e 1:100000) per l'intero territorio regionale;
- nuova cartografia numerica alla media scala (1:10000) per tutto il territorio regionale;
- nuova cartografia numerica alla grande scala (1:2000 e 1:5000) per i centri urbani e per le aree di intensa urbanizzazione attuale o prevista.

Le priorità decise per la realizzazione di tale nuova cartografia sono:

- 1.1) allestimento della nuova Carta Topografica Regionale 1:25000 per il bacino del Serchio;
- 1.2) allestimento Carta Tecnica Regionale 1:2000 per i centri abitati nel bacino del Serchio;
- 1.3) allestimento di nuova Carta Tecnica Regionale 1:10000 per il bacino del Serchio;
- 2.1) allestimento di nuova Carta Topografica Regionale 1:25000 per l'intero territorio regionale;

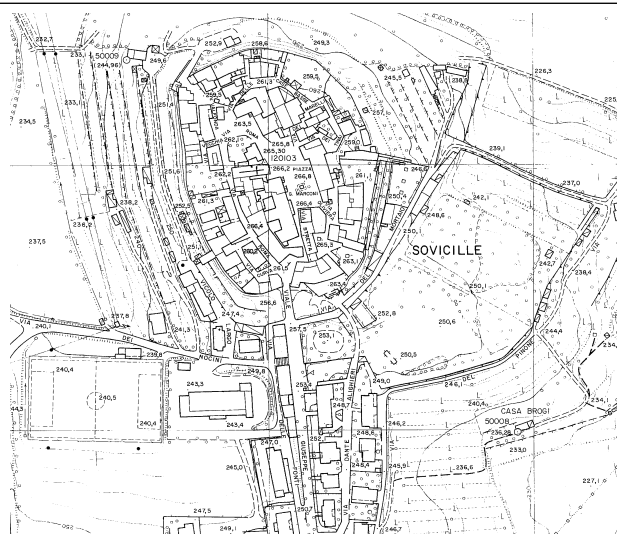
- 2.2) allestimento Carta Tecnica Regionale 1:10000 per le aree prive di copertura con C.T.R. 1:5000;
- 3.1) allestimento C.T.R. 1:10000 per le aree dotate di copertura con C.T.R. 1:5000 anteriore al 1° Piano Pluriennale;
- 3.2) allestimento C.T.R. 1:2000 per le aree urbane non coperte dal 1° Piano Pluriennale;
- 4.1) allestimento di C.T.R. 1:2000 per le aree urbane dotate di C.T.R. 1:2000 allestita prima del 1986;
- 4.2) allestimento nuova C.T.R. 1:10000 per le aree dotate di C.T.R. 1:5000 allestita col 1° Piano Pluriennale;
- 5.1) allestimento di C.T.R. 1:2000 per le aree urbane dotate di C.T.R. 1:2000 allestita col 1° Piano Pluriennale.

## La produzione cartografica della Regione Toscana

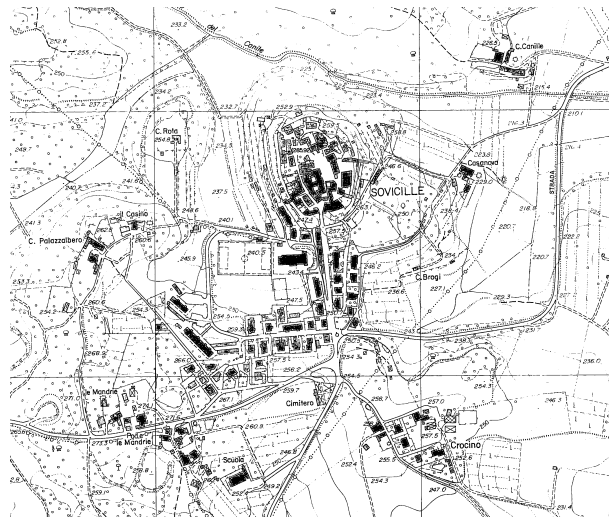
La Regione è attiva nella produzione di cartografia a grande scala fin dai primi anni '80 (L.R.3/1983). A giugno '95 erano stati realizzati:

- 1804 elementi di C.T.R. 1:5.000; più 375 elementi in versione anche numerica;
  - 420 sezioni di C.T.R. 1:10.000, + 18 sezioni in versione anche numerica;
  - 314 sezioni di C.T.R. versione Ortofotocarta;
  - 813 sezioni di Mosaici Catastali 1:10.000;
  - 2068 elementi di Mosaici Catastali 1:5.000;
  - più di 1000 fogli di C.T.R. 1:2.000 di centri abitati (tra cui la copertura dell'intera area FI-PO-PT);
  - una serie di carte d'insieme in scala 1:250.000;
- e acquisito più di 50.000 fotogrammi e diverse immagini da satellite.

## La Carta Tecnica Regionale 1:2.000



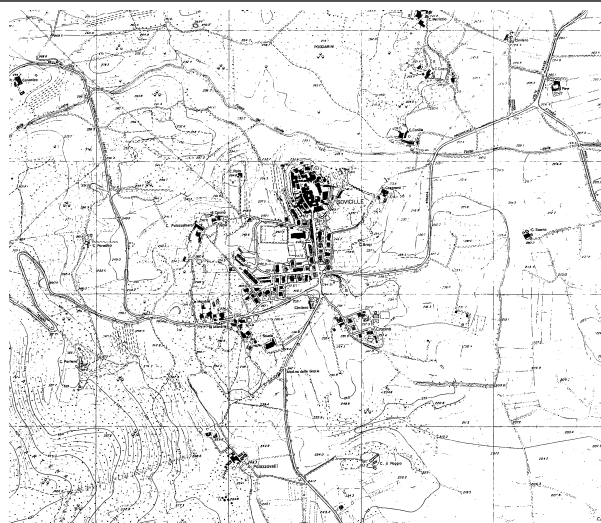
# La Carta Tecnica Regionale 1:5.000



# I Mosaici Catastali 1:5.000 e 1:10.000



## La Carta Tecnica Regionale 1:10.000



## La Ortofotocarta 1:10.000



Il percorso tipico nella formazione di una nuova cartografia a grande scala prevede l'effettuazione di un volo per la acquisizione di una serie di strisciate aventi caratteristiche adeguate (quota, overlap, sidelap); sulla base dei fotogrammi disponibili si procede all'effettuazione di una campagna di rilevamento topografico di punti, in modo da creare una rete di inquadramento geodetico, indicando per diversi punti ("frecciati" sulle immagini, e di cui si preparano monografie che consentano di riconoscere facilmente il punto misurato) distanze, angoli azimutali e zenitali da punti di stazione la cui posizione sia stata misurata rispetto ai vertici della rete trigonometrica (I.G.M.I., o catastale, o regionale) più vicini.

Sulla base delle misure rilevate, si procede alla compensazione delle stesse ed alla individuazione dei valori più probabili delle coordinate per ciascun punto scelto. Ai punti individuati in campagna e rilevati con i metodi topografici, si aggiungono punti scelti sui modelli stereoscopici, in modo da "agganciare" le diverse coppie tra di loro, e le diverse strisciate tra loro, e le cui posizioni vengono misurate con i metodi della fotogrammetria.



Dopo la fase di triangolazione aerea sono disponibili punti sufficienti per poter montare ed orientare adeguatamente ciascun modello stereoscopico, da cui si può procedere a rilevare gli elementi che si vuole cartografare.

Nella cartografia tradizionale i movimenti prodotti dall'operatore ruotando dei volantini dello strumento di restituzione (di tipo analogico) per seguire gli elementi da rilevare, vengono trasmessi ad un pantografo che traccia su un foglio indeformabile le linee corrispondenti, producendo così la **minuta di restituzione**. Questa, dopo opportune verifiche ed integrazioni fatte in campagna, viene passata ai disegnatori, che la rilucidano a china, per strati omogenei, eventualmente più strati abbinati tra loro, ed adottando le simbologie e le vestizioni prescelte.

L'insieme degli strati così prodotti concorre a formare, tramite procedure fotografiche, un indeformabile trasparente della carta finale.

Dall'indeformabile trasparente si possono poi produrre eliocopie della carta, realizzando prodotti elaborabili, all'occorrenza, graficamente solo in modo manuale (grattando, disegnando, colorando).

Con processi fotografici si possono mosaicare più carte adiacenti, e realizzare riduzioni o ingrandimenti.

Con l'avvento dei calcolatori si sono resi disponibili strumenti fotorestitutori analitici, dove un elaboratore calcola in tempo reale le coordinate terreno di un punto a partire dalle coordinate lastra su ciascun fotogramma dei punti omologhi, e controlla un plotter a penna per la produzione della minuta di restituzione; le coordinate di tutti i punti rilevati, insieme ad opportuni codici inseriti tramite una tastiera dall'operatore, vengono inoltre memorizzate su supporti magnetici, rendendo possibili successivi plottaggi ed elaborazioni per realizzare tramite programmi la vestizione dei particolari restituiti.

I plottaggi effettuati su indeformabile possono eventualmente essere rielaborati o corretti graficamente dai disegnatori, oppure i dati numerici essere editati a videografico da un operatore che provvede ad effettuare tutti gli aggiustamenti e le correzioni necessari, prima di un plottaggio definitivo.

La disponibilità dei dati numerici consente di realizzare plottaggi parziali (solo alcuni strati, o solo una particolare zona della carta), di realizzare vestizioni diverse, di procedere a sfoltimenti (automatici o manuali a videografico) di quegli elementi che si vuole far sparire in operazioni di riduzione di scala, e di rendere molto più semplici e meno costosi eventuali aggiornamenti successivi. Naturalmente è possibile l'effettuazione di mosaici, riduzioni, ingrandimenti, misure di distanze e di superfici (fatte automaticamente tramite programmi), elaborazioni statistiche, ecc.

A fine '91 i costi di produzione di cartografia numerica (dalla ripresa aerea alla fornitura degli elaborati grafici finali e dei relativi dati numerici) erano:

Scala	Lire per ettaro	Lire per cm <sup>2</sup> della carta:
1:1.000	225.000	2.250
1:2.000	55.000 (60.000 nel '95)	2.200
1:5.000	8.500 (9.000 nel '95)	2.125
1:10.000	4.500 (5.000 nel '95)	4.500

Disponendo di cartografia non numerica, si potrebbe pensare di procedere ad una digitalizzazione per ottenerne una versione numerica: a questo proposito vale la pena ricordare che è sempre sconsigliabile operare in tale direzione, se esistono alternative praticabili. Infatti la digitalizzazione manuale di cartografia esistente produce un risultato largamente inferiore al prodotto ottenuto dal processo diretto di restituzione fotogrammetrica: all'errore intrinseco della carta originale si sommano infatti gli errori di deformazione del supporto e quelli di interpretazione del digitalizzatore. Infine il prodotto ottenuto necessiterà probabilmente di una fase di aggiornamento, in quanto riproduce un'immagine del territorio ormai datata, e spesso, soprattutto per quelle zone interessate da forti dinamiche di antropizzazione, sostanzialmente diversa dal reale.

A fine '91 i costi di digitalizzazione di cartografia preesistente risultavano essere all'incirca:

Scala	Lire per ettaro	Lire per cm <sup>2</sup> della carta:
1:2000	20000	800
1:5000	5000	1250

Si vede come i costi della digitalizzazione e quelli al rifacimento ex-novo siano assolutamente confrontabili.

## **Letture delle carte**

Su di una carta topografica, ad esempio quelle dell'I.G.M.I. in scala 1:25000, vengono rappresentati, con opportuna simbologia, diversi strati omogenei:

- ferrovie,
- viabilità,
- edificato,
- idrografia,
- orografia,
- vegetazione,
- toponomastica e limiti amministrativi,
- indicazioni ausiliarie per l'uso della carta (scala, coordinate geografiche dei vertici, fuso di appartenenza, modulo di deformazione lineare relativo al centro della carta, angolo di declinazione magnetica, angolo di convergenza del meridiano).

Nel testo "Segni convenzionali e norme sul loro uso - vol.I - cartografia alla scala 1:25000" pubblicato dall'I.G.M.I., si trovano le indicazioni che sono servite nella redazione delle carte topografiche.

Esaminiamone alcuni stralci.

Nelle carte topografiche dell'I.G.M., ogni segno ha forma simile e dimensione proporzionata a quella del particolare che rappresenta. Solo quando ragioni di graficismo rendano ciò impossibile, si usano segni convenzionali. Solo nelle carte topografiche a piccolo o a piccolissimo denominatore i segni possono essere proporzionati alla grandezza reale dei particolari che rappresentano; oltre un certo limite, acquisterebbero dimensioni così piccole da non potersi distinguere; da ciò emerge la necessità di ricorrere a segni imitativi (segni convenzionali) di dimensioni determinate. Nell'uso dei segni convenzionali viene mantenuta inalterata la posizione dei particolari più importanti e più appariscenti.

Ad esempio, nella rappresentazione delle case isolate, nello strato degli abitati ed opifici, valgono le seguenti prescrizioni: per le case isolate di abitazione, le dimensioni grafiche non devono mai essere inferiori a 3/4 di millimetro per il lato più lungo (in scala 1:25000 corrisponde a circa 18 metri sul suolo). Quando per tale norma, la proiezione di una casa risulti ingrandita, si armonizza in relazione con le case vicine più grandi, ingrandendo alquanto anche il segno di queste.

Per la casa isolata, il centro del segno coincide in proiezione col centro della casa, tranne che per la casa con fronte sulla rotabile o ad essa immediatamente adiacente, perché in tal caso il segno dovrà essere spostato all'esterno a causa della dimensione grafica del segno stradale che è superiore, in scala, alla larghezza vera. Il segno stradale (o meglio l'asse stradale) è sempre segnato con l'esatta proiezione, e non viene mai spostato per far posto al segno dei fabbricati adiacenti quando trattasi di rettifili; se invece la strada ha delle svolte, e sia possibile adattare queste senza falsarne la figura, è preferibile lasciare i fabbricati nella loro esatta proiezione.

Gruppi di case, paesi e città vengono opportunamente sintetizzati. Devonsi in ogni caso conservare in giusta proiezione gli assi delle arterie stradali principali e il perimetro del centro abitato. I segni di fabbricati intermedi vengono semplificati di forma e ridotti di numero cercando però di mantenere le relazioni di grandezza fra i caseggiati vicini e di rendere appariscenti le strade più importanti e le piazze principali. Devono essere sempre messe in evidenza le strade che attraversano l'abitato e che servono di allacciamento alla rete stradale esterna.

Nelle carte topografiche le scritture sono un complemento di notevole valore per la identificazione dei particolari topografici; pertanto la loro trascrizione è fatta con la massima cura e fedeltà. Solo per pochi elementi (comuni e centri abitati, parrocchie, importanti accidentalità, ecc.) esistono nomi sanzionati da documenti ufficiali; per la maggior parte degli elementi topografici (piccole località, case isolate, alture e corsi d'acqua secondari, ecc.) si incontrano notevoli difficoltà per conoscere e raccogliere toponimi conosciuti, e per conoscerne la forma ortografica accettata da tutti e più largamente usata. Vengono qui indicate le norme seguite per la raccolta dei nomi e per la loro scrittura nelle carte.

- a) **Denominazioni da inserire nelle carte** - Nelle carte vengono scritti nomi conosciuti dalle persone del luogo. Vengono inseriti, anche se poco usati e conosciuti sul luogo, i nomi di speciale importanza storica (strade, ruderi notevoli di antichità, ecc.). I nomi vengono poi normalmente scritti in lingua italiana, ma la terminologia locale dei nomi comuni è mantenuta (alpe, baita, casèra, tabia, ecc., brughiera, magredo, groana, ecc.). Si evita, quando possibile, di scrivere il nome del proprietario di case, ville, poderi, ecc., e si usa invece il nome della località o del fondo.
- b) **Raccolta delle denominazioni** - I topografi, prima di partire per i lavori di campagna, devono consultare i fascicoli dell'Istituto Centrale di Statistica "Censimento Generale della Popolazione". Agli effetti della esatta grafia dei toponimi, e limitatamente a quelli che prende in considerazione, questo documento

ufficiale fa testo. La raccolta dei nomi è fatta dagli operatori in campagna interrogando sia gli abitanti che altre persone notoriamente pratiche dei luoghi (parroci, ingegneri e geometri, agenti forestali, alpinisti, cacciatori, guardie campestri, ecc.). Sono inoltre consultate le mappe catastali, i documenti esistenti in archivi pubblici e parrocchiali, ecc. I nomi raccolti nell'apposito stampato vengono successivamente presentati alle Autorità comunali, e previa ampia discussione, convalidati dalla firma del Sindaco o di chi ne fa le veci.....

- c) **Quote** - .... La densità e la distribuzione delle quote debbono essere tali da rendere facilmente e rapidamente leggibili le forme del terreno; la densità sarà perciò maggiore nei terreni rotti ed a forme non molto decise, e la loro disposizione ravvicinata nei bruschi salti del terreno. Per norma in una tavoletta al 1:25000 sono sufficienti circa 500 quote.
- d) **Densità delle scritture** - Occorre una ragionata sobrietà, per non ingombrare la carta a detrimento della chiara comprensione delle forme del terreno. E' preferibile abbondare in quote che in denominazioni talvolta incerte o di limitata durata (esempio: nomi di proprietà). Si scrivono tutti i nomi di comuni, centri e nuclei abitati; delle case isolate si scrivono soltanto i nomi indubbi di alcune di esse, situate in spazi privi di altre denominazioni. E' preferibile, ai nomi di case isolate, sostituire quelli delle regioni o contrade, o i nomi di particolari idrografici ed orografici, lasciando le case individuate dalla loro quota. Per norma in una tavoletta al 1:25000 sono sufficienti circa 200 nomi.....

Nella cartografia tecnica regionale in scala 1:5000, l'esigenza di procedere alla formazione di una carta tecnica comporta che tutti gli elementi rappresentati siano in esatta proiezione, e dunque non subiscano operazioni di "gonfiamento" o di "spostamento" collegate alla fase di vestizione.

I livelli informativi della C.T.R. 1:5000 realizzata in Toscana (attualmente acquisita in forma numerica) sono:

- sistema delle comunicazioni,
- edifici ed altre strutture,
- acque,
- impianti di estrazione, trasformazione, trasporto energia,
- elementi divisorii e di sostegno del terreno,
- forme terrestri,
- vegetazione,
- orografia,
- limiti amministrativi e varie.

Nella "Tavola dei contenuti, segni grafici e codici per cartografia a scala 1:5000", a cura dell'Ing. Pelacani del Servizio Cartografico della Regione Toscana, si trovano i criteri che regolamentano l'acquisizione e la rappresentazione degli elementi da riprodurre sulla carta.

Ad esempio, le strade (codificate con codice 101) devono essere rappresentate in base alla loro effettiva larghezza, che comprende il nastro asfaltato e la banchina; le aree di sosta vengono rappresentate facenti parte della strada.

Gli edifici civili, sociali, amministrativi ed i rifugi (codificati con codice 201): per edificio si intende una struttura o insieme di strutture in muratura, cemento armato, prefabbricato, la cui superficie non presenta soluzioni di continuità.

Informazioni aggiuntive si trovano anche nel Capitolato Speciale d'Appalto relativo alla formazione di C.T.R. in scala 1:2000.

I limiti amministrativi saranno dedotti esclusivamente dalle mappe catastali. Il riporto di tali limiti sulla cartografia sarà effettuato facendo coincidere i crocicchi della parametratura Cassini-Soldner presenti in entrambe le cartografie.

I toponimi saranno, preliminarmente, dedotti da documenti esistenti, quali cartografia I.G.M., mappe catastali, cartografia regionale, ultimo censimento I.S.T.A.T., elenchi stradali, ecc. I nomi così raccolti saranno verificati e confermati con la ricognizione sul posto, durante la quale sarà anche provveduto alla eventuale integrazione. Tutta la toponomastica sarà trascritta nell'apposito stampato fornito dall'Amministrazione appaltante..... Al termine delle operazioni, il ricognitore dovrà far convalidare i documenti concernenti la raccolta della toponomastica sottoponendoli all'esame dei competenti uffici delle Amministrazioni Comunali interessate per territorio.

L'orografia viene rappresentata mediante curve di livello integrate da punti quotati, sia nella cartografia I.G.M. in scala 1:25000, che nella C.T.R. in scala 1:5000 (analizziamo queste due cartografie come esemplificative, non dimenticando che esistono anche carte molto più dettagliate, spesso collegate alla gestione e manutenzione di reti tecnologiche, e carte molto meno dettagliate, tipicamente ricavate da un ridisegno, opportunamente sfolto, di carte a scala maggiore).

Nella carta I.G.M. vengono inoltre adottati tratteggi, realizzati a lumeggiamento obliquo con luce diretta da Nord-Ovest a Sud-Est ed inclinata di 45° sull'orizzonte; vengono usati solo nella rappresentazione di terreni

rocciosi dirupati per le frane, calanchi, scarpate, cave, scoscendimenti, ed in genere in tutti quei casi in cui il solo impiego delle curve non renderebbe con efficacia le forme del terreno.

Abbiamo visto che carte diverse, a scale diverse, presentano anche contenuti diversi, ed elementi analoghi vengono rappresentati con modalità diverse.

Vi sono carte adeguate per rilevarvi "misure", e tipicamente sono carte tecniche (cioè finalizzate alla progettazione) o catastali (e cioè finalizzate alla valutazione di parametri fiscali ed impositivi), così come vi sono carte per la progettazione di ponti radio (che dunque devono riportare ampie porzioni di territorio) o per analisi geomorfologiche.

Si vede, dunque, come carte a scale diverse siano finalizzate a fornire una rappresentazione del territorio adeguata ad esigenze diverse. Per quelle attività di progettazione tecnica, di gestione a fini fiscali, di pianificazione dell'utilizzo del territorio (e quindi i P.R.G.) risulteranno indispensabili cartografie molto dettagliate, su cui sia possibile effettuare (con minimo grado di incertezza) misure di superfici, di lunghezze, di angoli: servono scale che vanno da 1:100 fino ad 1:2000.

Per attività di pianificazione territoriale, ad esempio a scala provinciale e regionale, sarà necessario disporre di cartografia più sintetica, ove sia possibile cogliere quei fenomeni territoriali di maggiore estensione, ad esempio i bacini idrografici (che da un punto di vista di conformazione del territorio rappresentano una ripartizione dello stesso di importanza analoga a quella introdotta dalla suddivisione in comuni da un punto di vista amministrativo). Anche per attività di progettazione di massima è opportuno disporre di cartografia ove sia possibile effettuare misure per le quali siano accettabili incertezze maggiori, e quindi a scale che vanno da 1:10000 fino 1:100000.

Poi si possono individuare campi di studio del territorio e di analisi della collocazione spaziale di fenomeni di vasta estensione, tali da richiedere cartografie molto meno dettagliate, e che consentano la rappresentazione di porzioni di territorio molto vaste: risulteranno adeguate scale che vanno da 1:250000 ed oltre.

Ad esempio il prof. Fondelli riporta nel suo "Manuale di Topografia" la seguente tabella, relativa alla scelta delle scale di rappresentazione in funzione dell'utilizzazione dei rilevamenti topografici:

archeologia - dettaglio	1:1 fino a 1:10
architettura - edilizia	1:10 fino a 1:100
centri urbani	1:100 fino a 1:500
urbanistica - ambientale	1:500 fino a 1:2000
urbanistica - territoriale	1:2000 fino a 1:10000
geomorfologia - topografia	1:10000 fino a 1:50000
carte tematiche	1:50000 fino a 1:250000.

Molte carte, soprattutto quelle in cui è necessario effettuare vestizioni, simbolizzazioni, sfoltimenti, e dunque quelle a scale meno dettagliate, nascono da un ridisegno del territorio a partire da cartografia di maggior dettaglio: ad esempio si può ricavare una cartografia in scala 1:50000 tramite ridisegno di una precedente cartografia in scala 1:25000, e quest'ultima potrebbe essere derivata da quella in scala 1:10000.

Si può dunque passare da una cartografia con maggior grado di dettaglio (tramite ridisegno, o talvolta, se non vi è eccessiva "distanza" tra la scala di partenza e quella di arrivo, anche tramite riduzione fotomeccanica) ad una meno dettagliata: l'incertezza di posizionamento di un punto nella carta di partenza è sicuramente molto minore di quella nella carta di arrivo.

Infatti ogni carta è caratterizzata, da un punto di vista metrico, da due parametri che sono strettamente collegati alla scala: il **grado di risoluzione** e l'**errore massimo di posizionamento**.

Il grado di risoluzione, e cioè la dimensione lineare del particolare più piccolo rappresentabile, è dato dal minimo spessore del tratto grafico con cui la carta viene disegnata, e viene assunto, per convenzione, uguale a 0,2 mm (0,2 mm carta corrispondono, in scala 1:10000, a 2 metri terreno, che è quindi la lunghezza minima di un particolare rappresentabile per tale scala).

L'errore massimo di posizionamento che si commette nel rilevare da una carta la posizione di un punto (stabilito a livello di capitolato) è generalmente dell'ordine di 0,5 mm carta, che per una carta in scala 1:10000 corrisponde quindi a 5 metri terreno. Di conseguenza esiste una incertezza nel posizionamento di un punto sulla carta corrispondente a 0,5 mm carta.

Se noi ricaviamo da una carta in scala 1:5000 (per la quale l'errore di posizionamento, pari a 0,5 mm carta, corrisponde a 2,5 metri terreno) una nuova carta in scala 1:10000 (diciamo che si operi tramite riduzione fotomeccanica, ed assumiamo di non introdurre ulteriori errori), l'errore di 2,5 metri terreno (che è collegato

alla precisione del rilievo della carta originale) è sicuramente inferiore all'errore che sarebbe tollerato per una carta in scala 1:10000 prodotta ex-novo (che sarebbe di 5 metri terreno).

Non possiamo certamente effettuare l'operazione inversa: una carta in scala 1:5000, con errore intrinseco di posizionamento di 2,5 metri terreno, ingrandita fotomeccanicamente per produrre una carta in scala 1:2000, manterrebbe sempre e comunque lo stesso errore di 2,5 metri terreno (mentre per una scala 1:2000 l'errore accettato sarebbe di 1 metro terreno), ed inoltre lo spessore di 0,2 mm (corrispondente al grado di risoluzione della carta, e corrispondente ad 1 metro terreno) risulterebbe ingrandito di 2,5 volte, dando origine ad un tratto di spessore di 0,5 mm carta (e dunque di 2,5 metri terreno, laddove la risoluzione di una carta 1:2000 dovrebbe essere di 1 metro terreno).

Passando (con procedure fotomeccaniche, ridisegno, scansione, digitalizzazione, ecc.) da una carta in scala più dettagliata ad una meno dettagliata, gli errori (o incertezze) intrinseci della carta sono compatibili con quelli tollerabili per la scala di "arrivo".

Invece passando, tramite ingrandimenti, da una scala di "partenza" ad una scala maggiore, si conservano gli errori della scala di "partenza", e dunque il prodotto che si ottiene potrebbe non essere confacente alle esigenze che consigliavano il ricorso ad una scala maggiore.

Spesso la lettura delle carte si appoggia ad una parallela lettura di immagini fotografiche o da satellite, o di statistiche relative a fenomeni a valenza territoriale, ottenendo così una maggior quantità di informazioni.

Infatti una carta è semplicemente un veicolo di informazioni sul territorio, organizzate e strutturate, opportunamente sintetizzate, talvolta evidenziate, rappresentate in forma grafica. La lettura di più fonti diverse (carte, immagini, documenti, elaborati statistici) consente di sintetizzare una più ricca conoscenza del territorio in questione (conoscenza che sarà finalizzata alla progettazione di interventi sul territorio, o di analisi di situazioni esistenti), e dunque si comprende come mai, con la disponibilità di nuove potenzialità di elaborazione automatica, sia iniziata la diffusione di strumenti per la implementazione di Sistemi Informativi Territoriali.

Lo studio di nuove organizzazioni delle informazioni (quelle strutturate ed adeguatamente "vestite" per essere rappresentate graficamente sulle carte topografiche, e fino ad oggi utilizzate solo in questa loro forma; ma anche le immagini da satellite o da aereo; i dati provenienti da censimenti, o altri dati di tipo statistico, ma comunque riferibili a porzioni di territorio) è alla base degli studi finalizzati alla strutturazione dei dati all'interno dei S.I.T. (chiamati anche G.I.S., cioè Geographical Information Systems).

Da una adeguata lettura delle carte esistenti (e nella progettazione dei rilievi topografici futuri) occorre estrapolare (e dunque prescindendo, per quanto possibile, dalla "veste" grafica adottata per la rappresentazione sulla carta) le informazioni che si vogliono inserire nel S.I.T., strutturarle opportunamente, finalizzandole al tipo di elaborazioni che si vuole effettuare, ed al tipo di analisi che si vuole poter condurre, sapendo di potere accedere contemporaneamente, tramite il calcolatore elettronico, anche a tutte quelle altre informazioni relative alle stesse porzioni di territorio che si saranno inserite.

Ogni tipologia di informazioni dovrà sottostare ad una strutturazione tale da consentirne poi un utilizzo nel S.I.T.: ad esempio i dati statistici relativi ai censimenti della popolazione possono essere messi in relazione al territorio a cui fanno riferimento inserendo nel sistema informativo i poligoni corrispondenti alle Sezioni di Censimento, ai Centri e Nuclei urbani, ai Comuni e Province. Ad un determinato tipo di Uso del Suolo, dovrà corrispondere nel S.I.T. la delimitazione dell'insieme delle aree corrispondenti.

E' opportuno allora evidenziare in cosa dovrà risultare diversa la cartografia numerica finalizzata ad un utilizzo nei G.I.S. rispetto a quella fino ad oggi utilizzata nella sua forma cartacea (e dunque anche rispetto alla cartografia numerica, attualmente esistente, ma strutturata solo in vista della rappresentazione sulla carta).

### ***Cartografia numerica e Sistemi Informativi Territoriali***

Da diversi anni si assiste ad un utilizzo sempre maggiore di elaboratori elettronici nella produzione (ed anche nell'utilizzo) della cartografia.

All'inizio i calcolatori sono intervenuti in quelle fasi in cui era necessaria capacità di calcolo (triangolazioni spaziali, compensazioni di reti trigonometriche), ma con la disponibilità di nuove periferiche controllate numericamente per la acquisizione o per la restituzione grafica, si è iniziato ad effettuare anche le fasi di fotostereorestituzione e di disegno mediante elaboratore elettronico.

Le nuove informazioni, non più semplicemente grafiche, fisse su di una carta, ma acquisite in forma numerica, e poi disegnabili tramite plotter, hanno portato alla evoluzione di sistemi automatici che consentissero e rendessero più rapido l'editing (correzioni, integrazioni con informazioni derivanti da rilievi in campagna, mosaicature e tagli) e la vestizione (rappresentazione di un ciglio di scarpata tramite il disegno di barbette, o di una strada tramite una doppia linea di larghezza simbolica) dei dati acquisiti interfacciando

gli stereorestitutori analogici al computer, o addirittura utilizzando stereorestitutori analitici (che si basano sull'impiego di un elaboratore che provvede in tempo reale alla trasformazione delle coordinate nei due sistemi dei fotogrammi in coordinate terreno, e si interfaccia con un elettrocoordinatografo per il riporto grafico in linea).

A questo punto è sorta l'esigenza di procedere ad una strutturazione dei dati (perché di questo si tratta) cartografici numerici: si sono organizzati per livelli, inizialmente solo per distinguerli in base al colore o allo spessore con cui dovevano poi essere stampati, successivamente anche organizzandoli per strati tematici (viabilità, idrografia, altimetria, reti tecnologiche, edificato, toponomastica, ecc.).

Nel contempo l'evoluzione tecnologica e la richiesta per capacità di elaborazione della cartografia numerica non semplicemente orientata alla rappresentazione e riproduzione grafica hanno portato alla disponibilità di nuovi strumenti di calcolo, evolutisi fino agli odierni strumenti per l'implementazione di G.I.S.

(Geographical Information System).

In realtà alla evoluzione dei sistemi computerizzati per il trattamento di cartografia numerica, ha corrisposto anche l'esigenza di nuove strutturazioni dei dati, in modo da meglio congegnarsi al tipo di elaborazioni che si vuole effettuare.

Un modo per chiarire questo concetto è l'introduzione della classificazione dei dati di cartografia numerica in **dati Map-oriented** e **dati GIS-oriented**.

Seppure la realtà si presenta sempre con connotazioni intermedie agli estremi appena accennati, possiamo individuare le caratteristiche salienti delle due filosofie di fondo, che hanno naturalmente pesanti ripercussioni sul modo di acquisire ed organizzare i dati.

I **dati Map-oriented** sono generalmente acquisiti per il solo scopo di produrre delle carte, e dunque saranno organizzati in modo adeguato alle esigenze delle elaborazioni finalizzate alle operazioni di vestizione grafica e di restituzione (eventualmente anche su periferiche di disegno molto sofisticate). Negli anni passati un sistema di elaborazione di dati cartografici veramente molto potente e sofisticato, ed orientato soprattutto alla produzione di cartografia (e dunque orientato al soddisfacimento delle esigenze appena viste) era l'Intergraph, che ad esempio struttura i dati in 63 livelli logici (che possono corrispondere a diversi strati tematici, o comunque a diversi raggruppamenti logici dei dati), consente la mosaicatura o la visione in sottofondo di diversi files grafici contemporaneamente, consente potenti meccanismi di vestizione e di progettazione di simboli, patterns lineari, tipi di campiture, si interfaccia a plotters a penna, ad incisione, a foto-plotters ed a plotters a raggio laser, consentendo riproduzioni di qualità eccezionali, ed a praticamente qualsiasi strumento topografico e di stereorestituzione. Naturalmente nulla vieta di sovrapporre, in maniera trasparente al sistema, altre organizzazioni logiche dei dati, magari organizzandoli in più archivi (uno relativo all'edificato, uno all'idrografia, ecc.), e nell'ambito di ciascuno utilizzare il meccanismo dei livelli (che ritroviamo praticamente analogo anche nei Layers di Autocad) per differenziare oggetti diversi appartenenti allo stesso strato tematico (edificio industriale, edificio di culto, edificio per civile abitazione, ecc.).

Un tale approccio consente di effettuare restituzioni parziali (la sola altimetria, la sola idrografia), od elaborazioni, eventualmente anche con strumenti diversi, di dati cartografici omogenei (calcolare la superficie o il numero degli edifici per civile abitazione relativi ad uno stesso elemento di cartografia o porzione di territorio).

La disponibilità di dati numerici ha contemporaneamente incentivato la produzione di nuovi strumenti automatici che fossero magari meno sofisticati o potenti nelle elaborazioni collegate alla vestizione ed alla riproduzione, ma che fossero in grado di fornire strumenti adeguati ad elaborare i dati per fornire un supporto alle decisioni circa l'intervento sul territorio (sia di ordine politico e pianificatorio, che di ordine tecnico e progettuale)

Diversi sistemi si sono succeduti nel tempo, e si parla di tempi molto ristretti (non dimentichiamo che i primi microprocessori sono apparsi nei tardi anni '70, ed oggi siamo in piena era informatica, con una diffusione strepitosa di personal computers e workstation, che consentono praticamente a chiunque di effettuare elaborazioni più complesse di quelle che potevano realizzarsi con i primi computers, utilizzati per il controllo delle astronavi e dei satelliti negli anni '60 e '70).

Merita sicuramente citare il Synercom, che è alla base della filosofia che oggi ritroviamo in ARC/INFO, che, in contrapposizione a strumenti come System 9, il nuovo Intergraph, ed altri, detiene importanti settori di mercato nel settore dei sistemi G.I.S.

Senza voler dare una descrizione esauriente, possiamo affermare che dei **dati GIS-oriented** devono sottostare ad una organizzazione più complessa, che spessissimo collega i dati grafici ad altri dati alfanumerici che descrivono o quantificano altre informazioni relative agli oggetti rappresentati. Ad esempio alla delimitazione di un edificio potranno essere collegate informazioni relative alla via, ai numeri civici, alle persone che vi abitano o alle attività che vi vengono svolte, ecc.

Alla raffigurazione di un'asta fluviale, che sia in vera proiezione o in forma simbolica, potranno essere collegati grafici rappresentanti sezioni in diversi punti, tabelle contenenti informazioni di portata, di carico inquinante, di pendenza e velocità in diversi punti ed in diversi periodi dell'anno.

Tra le esigenze di elaborazione di archivi geografici, possiamo sicuramente accennare alla possibilità di effettuare intersezioni tra archivi (chiamiamoli strati, o, secondo la terminologia di ARC/INFO, coperture) diversi, in modo da poter individuare aree che siano, ad esempio, contemporaneamente aree agricole, non vincolate, entro una certa distanza da particolari categorie di strade, ed aventi un particolare intervallo di pendenze: tali intersezioni corrispondono alle operazioni logiche di AND, OR, XOR, e sottrazione che già siamo abituati a fare operando con database su dati alfanumerici, ma che devono essere fatte su dati che rappresentano geometricamente una partizione del territorio.

Tali operazioni sono molto complesse, e solo oggi la tecnologia mette a disposizione calcolatori abbastanza potenti da consentire di effettuarle in tempi accettabili.

Naturalmente diventa grandissima l'esigenza di studiare, in maniera non improvvisata, la organizzazione e la strutturazione dei dati, e dunque anche il costo di acquisizione e di collegamento delle informazioni aumenta in misura grandissima.

Diventa più che mai opportuno che la organizzazione di un GIS, l'introduzione di dati cartografici ed alfanumerici, la definizione delle strutture e delle modalità di elaborazione e di utilizzo delle informazioni, e (importantissimo) la documentazione e la diffusione dei patrimoni informativi, siano affidati a pool di tecnici con formazioni diversificate, ed adeguatamente organizzati e coordinati.

Come complessi diventano gli strumenti, i dati, i flussi che li movimentano, così complesse risultano le organizzazioni delle persone e delle competenze che in qualche modo sono coinvolte nella formazione dei Sistemi Informativi Territoriali.

A questo punto si vede come limitativo risulti attribuire il nome di cartografia numerica a quei dati che devono servire per il collegamento al terreno di fenomeni che sono descritti, secondo strutture anche molto complesse, nei GIS, e che forniscono descrizioni anche molto sofisticate del Territorio, nelle sue migliaia di facce diverse.

E' dunque opportuno riconoscere che i dati geometrici che devono entrare a far parte di un GIS, e dunque devono essere riorganizzati in termini di primitive geometriche trattate dallo strumento (POLIGONI, LINEE, PUNTI, PIXELS, ecc.), in qualche modo sono superiori alla cartografia numerica (ed ai dati Map-oriented, che sono in un rapporto quasi biunivoco con il prodotto cartaceo che rappresentano), ed acquistano invece una connotazione di **base informativa**.

Base informativa, sia in senso stretto, in quanto fanno da struttura di collegamento tra i fenomeni che sono sul territorio e la loro rappresentazione geometrica sul terreno, sia in senso lato, in quanto la loro ricchezza è collegata non solo al loro aspetto localizzante, ma anche a quello topologico.

La capacità di definire una posizione (localizzazione) sul terreno è collegata alla presenza di coordinate (espresse in un qualche sistema di riferimento, quasi sempre di tipo cartesiano), mentre la capacità di definire un rapporto topologico tra oggetti geometrici differenti (l'informazione che due poligoni sono confinanti, che un punto è interno ad un poligono, che una linea collega due punti, ecc.) è contenuta nella struttura con cui i dati sono codificati ed organizzati.

E dunque i dati che vengono inseriti in un GIS sono arricchiti, in termini di struttura e di organizzazione, rispetto ai dati di cartografia numerica come quelli immediatamente derivanti, ad esempio, da una stereorestituzione (e dunque costano di più).

Ad oggi siamo ancora in quella fase transitoria in cui siamo poco propensi ad accettare di pagare di più dei dati geometrici più "sofisticati" (che ancora non sappiamo sfruttare appieno), eppure siamo già consapevoli che di questi avremo bisogno per un loro inserimento in un Sistema Informativo Territoriale.

Al lavoro di organizzazione logica dei dati geometrici nel GIS, e dunque nella loro esplicitazione in termini di primitive geometriche (poligoni, linee, punti, pixels, reti, modelli digitali del terreno, immagini digitali, da satellite e da aereo, ecc.), deve corrispondere anche una "organizzazione" (e relativa progettazione) della lettura del Territorio in termini di coperture omogenee (e dunque il riconoscimento di partizioni del territorio secondo criteri amministrativi (comuni, province, regioni, comprensori di bonifica, circoscrizioni, U.S.L., comunità montane), od in base a criteri di protezione e vincolo (vincolo idrogeologico, paesaggistico, archeologico, ecc.), od in base all'uso del suolo (strumenti urbanistici, copertura del suolo, ecc.), e la individuazione di altre stratificazioni omogenee (viabilità, organizzata, ad esempio, per differenti tipologie di strade e ferrovie, e strutturata a rete, per collegare entità puntuali che rappresentano incroci, caselli, stazioni, ecc.; idrografia, organizzata gerarchicamente tra aste e relativi affluenti; reti tecnologiche).

Se per il primo aspetto di organizzazione logica dei dati geometrici sembra adeguato il ricorso ad una figura tecnica con formazione logico-matematica (ingegnere, fisico, matematico, meglio ancora informatico), per la individuazione della organizzazione logica implicita (spesso preesistente, ed individuabile, come nel caso, ad

esempio, delle partizioni amministrative od in base all'uso del suolo), o per la progettazione di una organizzazione da imporre (come nella definizione della maglia delle sezioni di censimento, o di altre forme di ripartizione funzionali a particolari interventi ed attività che si vogliono effettuare sul territorio) occorre sicuramente costituire, e formare, un gruppo di tecnici interdisciplinare, in grado di riconoscere, appunto, le diverse facce con cui si propone lo stesso territorio, e di confrontarsi tra loro per riuscire a riversare nel GIS la ricchezza di aspetti che appunto il Territorio presenta (e che in comune hanno proprio la localizzazione sul suolo, oltre ad eventuali relazioni topologiche).

Non sempre si riesce ad organizzare un pool adeguato allo scopo, e spesso Sistemi Informativi Territoriali, costati diverse centinaia di milioni, e spesso esageratamente pubblicizzati, alla fine mostrano di essere uno strumento inutile o inutilizzabile, o non aggiornabile, e dunque falliscono miseramente.

### **Cartografia topografica e cartografia tematica**

Abbiamo parlato molto della cartografia topografica (topografia significa disegno dei luoghi), e questa è spesso distinta dalla cartografia tematica. Tale distinzione è essenzialmente dovuta alla tradizione cartografica italiana, che ha sempre riconosciuto come topografica quella cartografia rappresentante elementi appartenenti ad alcuni strati (o tematismi) tipici:

- viabilità,
- edificato,
- idrografia,
- orografia,
- vegetazione,
- toponomastica e limiti amministrativi.

In realtà anche la cartografia detta topografica è una cartografia tematica relativa ad alcuni specifici tematismi.

Ma essa è ad esempio priva di notizie riguardanti la composizione del suolo e del sottosuolo, delle acque, ed inoltre non è in grado di rendere evidenti molti aspetti ambientali, biologici, antropici, quali possono essere ad esempio quelli inerenti la vegetazione e la fauna, la cultura, la storia e l'economia. Spesso anche le informazioni relative ai succitati argomenti vengono rappresentate in forma grafica, e tali rappresentazioni vengono definite cartografie tematiche.

La carta geologica del Servizio Geologico Nazionale è ad esempio una cartografia tematica, ma per una più chiara lettura (e per le strettissime connessioni esistenti tra il tematismo geo-litologia e la forma del territorio, e dunque orografia ed idrografia) essa è sovrapposta alla carta topografica I.G.M. 1:100000.

In effetti una carta topografica, tra i tanti utilizzi che se ne fanno, viene spesso sfruttata come "supporto" per carte tematiche, in modo da semplificarne la lettura ed evidenziare le interrelazioni spaziali del tematismo con gli altri fenomeni cartografati.

A questo scopo si ricorre, ultimamente, all'utilizzo di basi topografiche numerizzate tramite scanner, che ne memorizza su supporto magnetico una rappresentazione raster (ovvero una immagine realizzata tramite un campionamento in pixels di una certa dimensione, e con una certa dinamica di tonalità di grigio).

Tale "immagine" può poi essere ingrandita, rimpicciolita, messa in relazione con la sua posizione sul terreno (ad esempio associando a ciascun pixel le sue coordinate terreno, essendo note le coordinate dei punti, facilmente e con precisione individuabili a video-grafico, che si trovano all'intersezione del reticolato chilometrico), ed infine sovrapposta ai dati vettoriali della carta tematica che si vuole plottare. Per un utilizzo di dati raster, è però indispensabile disporre di un'unità di restituzione "raster": tali sono i plotter elettrostatici (a colori o in bianco e nero), i plotter termici (solo in bianco e nero), le stampanti laser o a getto di inchiostro, ed i monitor (che possono essere poi fotografati).

Il costo di scansione e di correzione geometrica (e di "aggancio" alla reale posizione sul terreno) varia dalle 50000 alle 80000 per foglio di carta topografica.

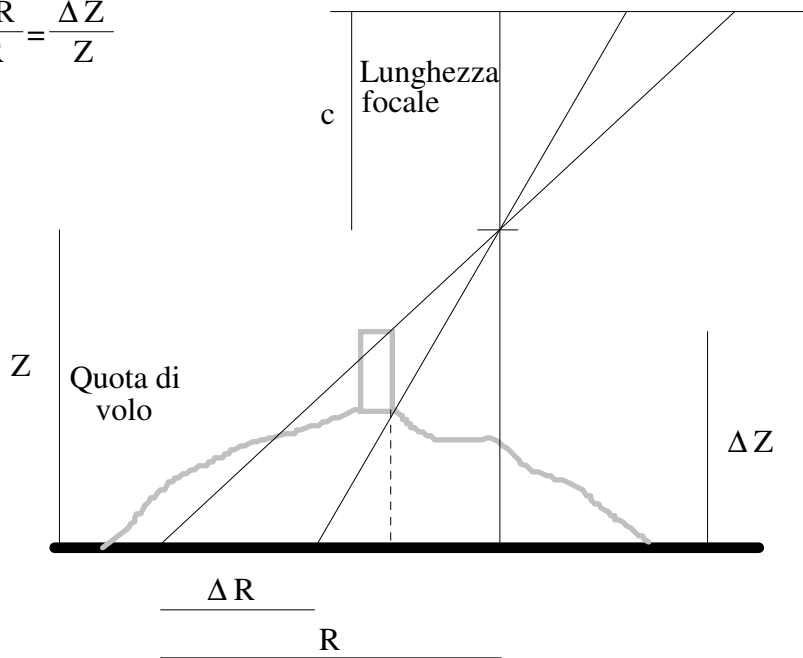
Laddove non si disponga di cartografia topografica in forma vettoriale (e cioè composta di linee, punti, poligoni e testi, opportunamente dotati di codici e di coordinate cartesiane), può essere interessante il ricorso all'utilizzo di cartografia in formato raster.

Come una carta numerizzata tramite scanner, anche altri tipi di "immagini" possono essere inseriti in un G.I.S. in forma raster: ad esempio immagini da satellite, o immagini da foto aerea passate allo scanner. Nel caso di immagini da foto aerea digitalizzate tramite scanner o di immagini da satellite (che vengono trasmesse sulla Terra già in forma raster) si pone il problema di una correzione che produca una **ortoproiezione** dell'immagine. Per realizzare tale correzione è indispensabile disporre, oltre che delle informazioni sulle modalità di ripresa (quota, focale, oppure orbita, ecc.), anche di un modello digitale del



terreno (D.T.M., chiamato anche Digital Elevation Model) che consenta di correggere quegli spostamenti planimetrici che appaiono sull'immagine a causa del rilievo.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta Z}{Z}$$



I modelli digitali del terreno sono una rappresentazione dell'altimetria del terreno, e ne esistono di vari tipi, di cui i più noti sono:

- curve di livello;
- reti di triangoli (TIN);
- maglia regolare di punti quotati (DTM o DEM).

Le curve di livello sono il modello altimetrico più adottato ai fini della rappresentazione grafica sulle carte topografiche, sono ben note, e si realizzano disegnando quelle linee che si otterrebbero "tagliando" idealmente il territorio con piani (localmente) paralleli al geoide, e disposti a quote prefissate (ad esempio ogni 25 metri per le carte 1:25000 e 1:50000, ogni 5 metri per le carte 1:5000, ecc.).

I TIN sono reti di triangoli, dove ciascun triangolo rappresenta una faccetta di superficie dotata di opportuna pendenza ed orientamento, e i cui vertici sono quotati: ogni lato (segmento che collega due punti quotati) è comune a due triangoli, o è di bordo (e dunque appartiene ad un solo triangolo). I triangoli sono "individuati" tramite appositi algoritmi, a partire da una semina di punti quotati disposti irregolarmente (che potrebbero anche essere quelli appartenenti alle curve di livello derivanti da stereorestituzione).

I DTM sono punti quotati disposti in corrispondenza dei nodi di una maglia regolare a cella quadrata e di lato di dimensioni fisse (ad esempio pixel di 100 metri di lato). Tale modello dell'altimetria può facilmente essere utilizzato come se fosse una immagine raster, producendo rappresentazioni, a toni di grigio o a colori assegnati in base al valore numerico memorizzato per ciascun pixel, delle fasce altimetriche (shaded relief model), delle pendenze (slope model) e delle esposizioni.

Generalmente a parità di contenuto informativo, i TIN consentono una minore occupazione di memoria; i DTM sono però interessanti per le possibilità di restituzione grafica (sfumi, carte delle pendenze, delle fasce altimetriche, delle esposizioni), ed infine le curve di livello sono facilmente ottenibili da stereorestituzione e sono il modo preferito di rappresentare l'altimetria sulle carte topografiche. Tramite programmi specifici è comunque possibile, con una limitata perdita di precisione e di dettaglio, passare da un modello all'altro. Sicuramente in un GIS è molto importante disporre di un modello dell'altimetria, per l'analisi di pendenze ed esposizioni dei versanti, per le operazioni di ortoproiezione di immagini aeree o satellitari, e per tutta una serie di simulazioni di tipo idraulico. In tal senso possono risultare utili anche una delimitazione dei bacini idrografici (che alcuni software sono in grado di estrapolare da un DTM), il reticolo idrografico, informazioni sul suolo e sulle rocce (e dunque di tipo pedologico e geo-litologico), sull'uso e la copertura del suolo, sulla vegetazione, sul clima, ecc.

Per scopi di pianificazione territoriale è molto interessante l'utilizzo dei dati dei censimenti ISTAT, che sono riferiti alle sezioni di censimento, a loro volta raggruppate in centri e nuclei abitati ed in zone di case sparse, ulteriormente riaggregabili a formare i comuni e le province.

Per un utilizzo che consenta la rappresentazione grafica dei dati censuari, è indispensabile disporre di un archivio geometrico contenente la delimitazione delle sezioni di censimento (per una conoscenza a livello del comune, e dunque al massimo dettaglio). Per esigenze conoscitive e di analisi relative ad aree più vaste è opportuno riferirsi ad una aggregazione delle sezioni di censimento (e dei dati censuari ad esse riferiti) in centri e nuclei urbani (per analisi a livello sovracomunale, e a dettaglio intermedio). Spesso alcuni fenomeni statistici sono adeguatamente analizzati facendo riferimento agli interi comuni, e questo succede quando le esigenze conoscitive sono più grossolane, e magari relative ad una intera regione.

Vediamo come anche per le cartografie tematiche si possa introdurre un concetto equivalente alla risoluzione e al dettaglio della cartografie topografiche: scale diverse (dettagli diversi) sono adeguate allo svolgimento di compiti diversi. Introduciamo dunque il concetto di **maglia informativa elementare** che è il più piccolo aggregato di informazioni che si considera nell'acquisire un archivio geografico (dati geometrici e relativi attributi). Abbiamo visto come, nel caso dei censimenti, si possa decidere di adottare, in base alle esigenze, ed in base ad una attenta valutazione dei costi di formazione degli archivi, differenti maglie informative elementari, e cioè:

- sezioni di censimento;
- centri, nuclei e case sparse;
- comuni;
- province;
- regioni.

Nella formazione di una carta tematica, ad esempio una carta della copertura del suolo, la scelta della maglia elementare si realizza nella scelta delle dimensioni minime di una porzione di territorio caratterizzata dall'appartenenza ad una classe omogenea, e cioè, ad esempio, le zone più piccole che si è interessati a cartografare (decidendo di inglobare le aree più piccole nelle zone che le contengono).

Nella digitalizzazione dei piani regolatori dei comuni, Regione, Provincia e Comune saranno interessati ad archivi con diverso grado di dettaglio, e dunque è opportuno studiare una legenda (un metodo di classificazione) di tipo gerarchico, per cui risulti semplice, avendo ad esempio acquisito il PRG con il massimo dettaglio (e dunque confacente alle necessità del Comune), operare aggregazioni (magari semplicemente mascherando alcuni campi del codice attribuito all'area elementare) in modo da ottenere archivi via via meno dettagliati, ed adeguati alle esigenze di conoscenza degli altri enti che operano sul medesimo territorio.

Naturalmente archivi più ricchi e dettagliati costano di più, e tale considerazione ha limitato gli interventi volti ad una acquisizione delle delimitazioni delle aree censuarie al loro massimo dettaglio, salvo che per situazioni particolari o studi specifici. La Regione Toscana ha acquisito, ad esempio, la delimitazione dei centri e nuclei urbani relativi al censimento 1981, ed ha acquistato dall'ISTAT la perimetrazione dei limiti dei centri e nuclei e delle sezioni di censimento 1991.

Va detto che il lavoro di predisposizione del materiale cartaceo da cui procedere alla digitalizzazione della ripartizione del territorio a scopo censuario è stato notevolmente pesante, soprattutto per la ampia varietà dei supporti cartografici adottati dai diversi comuni per la trasmissione alla Regione dei Piani Topografici di Censimento. Infatti, soprattutto per campagne di rilevamento informazioni di così ampia portata, risulta fondamentale la collaborazione di tutti i tecnici coinvolti nell'attenersi il più possibile alle indicazioni fornite relativamente alla adozione di una base cartografica omogenea (per ridurre i costi e le incertezze nella fase di acquisizione) e di criteri omogenei di redazione del materiale informativo; inoltre una conoscenza puntuale del territorio è opportuna per un più consapevole intervento sullo stesso, e tale patrimonio conoscitivo, acquisito secondo metodologie standard ed unificate e con evidenti economie di scala (rispetto ad iniziative sparse e scoordinate), viene poi trasferito indietro agli altri enti locali.

Altri tipi di campagne di rilevamento vengono effettuate, analoghe al censimento: il censimento dell'industria e del commercio, sempre coordinato dall'ISTAT; il censimento delle aree produttive, realizzato dalle Province insieme al Dip.to Turismo ed Attività Produttive della Regione; il censimento delle grotte, delle aree estrattive, delle discariche, ecc.

In un certo senso anche le campagne di rilevamento per la redazione di una nuova carta topografica si configurano come un censimento, come una fotografia fatta in un certo istante ad un territorio: tali iniziative di reperimento informazioni si contrappongono ad un altro tipo di informazioni, provenienti dalle attività istituzionali dell'ente locale: concessione di autorizzazioni, concessione di contributi, approvazioni di piani o progetti, gestione degli archivi anagrafici, ecc.

Tale fonte di dati è costantemente "in funzione", e dunque dovrebbe essere possibile disporre sempre del dato aggiornato, e cogliere anche l'evoluzione dinamica di fenomeni che si presentano sul territorio (crescita della popolazione, ecc.). Purtroppo le attività proprie di gestione del territorio (e dunque con tale termine intendiamo ora sia il suolo, che le infrastrutture e le attività e la popolazione che su di esso esistono) da parte

degli enti locali sono spesso organizzate in maniera scoordinata da altre attività di gestione o pianificazione sul medesimo territorio, e dunque non prevedono la possibilità di rendere disponibili informazioni statistiche in forma fruibile da altri soggetti.

Gli enti locali sono depositari di ricchissimi patrimoni informativi, spersi e non organizzati, e dunque non utilizzabili secondo un approccio di Sistema Informativo (che significa essenzialmente informazioni organizzate, accessibili, documentate, confrontabili). In tal senso occorre che la formazione di un Sistema Informativo Territoriale influisca pesantemente anche sulla organizzazione degli uffici e sulle procedure tecniche e burocratiche adottate in tali uffici, in modo da definire chiaramente e da organizzare i flussi di informazioni che devono esistere tra i diversi uffici affinché il patrimonio informativo possa davvero configurarsi come Sistema. In mancanza di una simile organizzazione, non si può che limitarsi all'utilizzo di basi di informazioni provenienti da campagne di acquisizione dati effettuate occasionalmente (o a scadenze prestabilite), e possibilmente avendo in mente procedure non eccessivamente costose per un aggiornamento, di tanto in tanto, del patrimonio informativo.

Si potrebbe a questo punto analizzare l'aspetto dell'invecchiamento delle informazioni, evidenziando come alcuni dati abbiano tempi di variazione molto brevi (ad esempio tutti quelli connessi all'antropizzazione del territorio), mentre altre informazioni risultino praticamente stabili nel tempo (quelle relative alla morfologia, alla geologia ed ai suoli).

Un'analisi della vita media di un archivio, insieme ad una valutazione dei costi di acquisizione (e di aggiornamento, se questo è possibile, prima di una nuova acquisizione) e delle potenzialità di utilizzo è sicuramente un lavoro importante da effettuare, prima di intraprendere costose campagne di raccolta dati. Ad esempio tutti i dati connessi alla morfologia presentano in genere un buon rapporto

**((Vita utile dell' archivio) \* (Utilità dell' archivio))**  
**(Costo acquisizione archivio)** , poiché sono molto stabili nel tempo ed in

genere molto utili nelle analisi del territorio, e dunque sono in genere un buon punto di partenza per la costituzione di una base di dati geografici.

Un accenno, infine, va fatto agli elementi costituenti un Sistema Informativo Territoriale implementato mediante l'utilizzo di tecnologie informatiche:

- dati organizzati, documentati e accessibili (cioè informazioni);
- hardware (non indispensabile, nell'accezione più ampia di S.I.T.);
- software (di gestione ed analisi dei dati memorizzati);
- attività di pianificazione e di gestione del territorio che necessitano di una conoscenza ottenibile tramite una analisi sinergica delle informazioni disponibili;
- persone che utilizzano l'hardware e il software per elaborare i dati in funzione delle attività di analisi e di gestione del territorio che devono svolgere.

La parte più costosa di un SIT è sicuramente quella costituita dalle basi di dati, ma la più strategica (e dunque la più importante) è quella delle persone, e della loro organizzazione, anche rispetto agli altri uffici. Si vede quindi come hardware e software risultino essere la parte meno importante, meno strategica e meno costosa di un S.I.T.

## **Bibliografia**

- Cosimo D'Arrigo Appunti di cartografia I.G.M.I. 1972  
Cosimo D'Arrigo Appunti di geometria dell'ellissoide di riferimento I.G.M.I. 1990  
Nicola Franchi Elementi di cartografia I.G.M.I. 1979  
Giovanni Boaga Elementi di geodesia e Topografia CEDAM 1944  
Giovanni Boaga Sulla rappresentazione conforme di Gauss I.G.M.I. 1942  
Jordan - Eggert Handbuch der Vermessungskunde. Band III Metzlersche Verlag. Stuttgart 1923  
Paolo Pizzetti Trattato di geodesia teoretica Zanichelli 1928  
Piero Bencini Appunti di cartografia I.G.M.I. 1985  
Giuseppe Birardi Corso di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria I.G.M.I. 1967  
I.G.M.I. Segni convenzionali e norme sul loro uso I.G.M.I. 1960  
I.G.M.I. Segni convenzionali per i fogli della Carta d'Italia alla scala 1:50000 e norme sul loro uso I.G.M.I. 1984  
Comm. Geodetica Ital. Norme proposte per la formazione di carte tecniche alle scale 1:5000 e 1:10000 I.G.M.I. 1973  
Gianluca Pelacani Tavola dei contenuti, segni grafici e codici per cartografia a scala 1:5000 Regione Toscana 1990  
Gianluca Pelacani Tavola dei contenuti, segni grafici e codici per cartografia a scala 1:2000 Regione Toscana 1990  
Alessandro Marcantoni Nozioni elementari di geodesia Vallerini 1947  
Antonio Marussi La teoria della proiezione di Gauss I.G.M.I. 1950  
Mario Fondelli Manuale di Topografia Laterza 1991  
Giuseppe Inghilleri Topografia generale UTET 1974  
Arthur Strahler Physical geography Wiley New York 1945  
Angelo Pericoli Applicazioni topografiche (studio e impianto dei ponti radio) I.G.M.I. 1973  
ARC/INFO 6.0 Map projections and coordinate management E.S.R.I. 1991  
I.G.M.I. Immagini per una carta topografica I.G.M.I. 1976  
Renato Antongiovanni Manuale dei principali problemi topografici e cartografici risolti con il P.C. Maggioli  
Alfredo Paroli Triangolazioni topografiche e del catasto Hoepli  
Piero Spagna Note pratiche sulle basi informative territoriali Regione Toscana 1984  
Nicola Jadanza Guida al calcolo delle coordinate geodetiche Loescher 1891  
Nicola Jadanza Elementi di geodesia I.G.M.I. 1895  
Muzio Mainardi Le rappresentazioni cartografiche I.I.M. - Genova 1977  
Eraldo Amadesi Fotointerpretazione e aerofotogrammetria Pitagora - 1977  
AA.VV. La cartografia e i sistemi informativi per il governo del territorio (a cura di R.Grimaldi) Franco Angeli 1983  
Ass.Ital. di Cartografia Atti del 19° convegno nazionale Bologna ottobre 1983  
Centro Interregionale Atti: land evaluation Firenze maggio 1983  
Centro Interregionale Atti: sistemi informativi territoriali Venezia aprile 1984

## Articoli

- Sergio Grassi  
Giovanni Boaga  
Algoritmi di trasformazione tra vari sistemi di coordinate cartografiche I.G.M.I.  
Sulle correzioni da apportare alle coordinate geografiche dei vertici di una triangolazione per il cambio delle coordinate dell'origine, dell'orientamento e dell'ellissoide di riferimento, con particolare riguardo ai problemi interessanti le triangolazioni italiane I.G.M.I.
- Giovanni Boaga  
Differenze fra le coordinate geografiche dei vertici di una rete geodetica riferita a due diversi ellipsoidi egualmente orientati I.G.M.I. 1943
- Renato Antongiovanni  
Studio sul razionale inserimento delle reti catastali nella rete nazionale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M.I. (Bollettino di geodesia marzo 1957)
- Corradino Mineo  
Sul trasporto di una rete di triangoli geodetici da uno a un altro degli ellipsoidi locali di una data regione del geoide *Giornale di scienze naturali ed economiche* vol. XLII - Palermo 1941
- Corradino Mineo  
Sulla possibilità di sostituire un unico ellissoide a due o più ellipsoidi di riferimento e sulla determinazione del geoide *Pubblicazioni dell'osservatorio astronomico di Palermo* vol. IX Palermo 1940
- Corradino Mineo  
Sul passaggio da uno a un altro degli ellipsoidi locali relativi a una data regione del geoide e sulle conseguenti variazioni delle coordinate ellissoidiche dei vertici della rete geodetica *Reale Accademia d'Italia - Roma* 1941
- R.Antongiovanni,G.Ghetti  
Problemi riguardanti la correlazione fra i vari sistemi locali catastali fra loro e con il sistema di Gauss-Boaga, risolti con l'ausilio del personal computer
- Giuseppe Birardi  
Il sistema U.T.M. nella nuova cartografia militare I.G.M.I. (*L'universo* marzo 1952)
- Alfredo Paroli  
Silvio Ballarin  
Sulla trasformazione delle coordinate da un ellissoide di riferimento ad un altro  
Sul passaggio dalle coordinate piane gaussiane alle coordinate geografiche per punti distanti dal meridiano fondamentale I.G.M.I. (*Bollettino geodetico* n.4/VIII 1949)
- Carlo Trombetti  
Sulla variazione delle coordinate geografiche dei vertici di una triangolazione per il cambio dei parametri dell'ellissoide di riferimento I.G.M.I. (*Bollettino geodetico* n.3/VII 1948)
- Carlo Trombetti  
Espressioni delle coordinate geodetiche polari dalle geografiche nel campo geodetico I.G.M.I. (*Bollettino di geodesia* n.4 1969)
- G.B.Pacella  
Trasferimento di una rete geodetica da un ellissoide ad un altro con eventuale variazione del centro di emanazione I.G.M.I. ottobre 1947
- Domenico Digiesi  
Studio sul passaggio fra due reti geodetiche di stati limitrofi I.G.M.I. dicembre 1931
- R.Del Frate,F.La Cava  
Trasformazione fra due sistemi di coordinate geografiche I.G.M.I. (*Bollettino di geodesia* n.3 1985)
- A.Coticchia,L.Surace  
Risoluzione di problemi geodetici con le minicalcolatrici elettroniche programmabili I.G.M.I. (*Bollettino di geodesia* n.1 1978)
- G.B.Pacella  
Una formula pel calcolo della geodetica fra due punti dell'ellissoide dei quali sono assegnate le coordinate I.G.M.I.
- Alessandro Marcantoni  
Giovanni Boaga  
Sulla rappresentazione gaussiana della sfera sul piano I.G.M.I.  
Formule della geometria dei piccoli triangoli curvilinei e risoluzione dei problemi geodetici ellissoidici I.G.M.I.
- Giovanni Boaga  
Giovanni Boaga  
Trigonometria geodetica sopra una superficie qualunque I.G.M.I.  
Sul calcolo della lunghezza di un grande arco di geodetica ellissoidica determinato dalle coordinate geografiche degli estremi I.G.M.I.
- Alfredo Paroli  
Sul calcolo numerico delle coordinate rettilinee e delle coordinate geografiche nel sistema di proiezione conforme di Gauss-Boaga I.G.M.I.
- Alfredo Paroli  
Bartolomeo Bonifacino  
Sull'aggiustamento delle reti trigonometriche col metodo dell'affinità I.G.M.I.  
Formule fondamentali della rappresentazione gaussiana della sfera sul piano I.G.M.I. (*Bollettino di geodesia* n.5 1960)
- Alessandro Marcantoni  
Sul trasporto delle coordinate geografiche e degli azimut sopra un ellissoide a tre assi I.G.M.I. (*Bollettino geodetico* n.2/VII 1948)

Carlo Trombetti	La trasformazione delle coordinate gaussiane per il cambio dei parametri dell'ellissoide di riferimento I.G.M.I.
Mario Menestrina	Trasformazione diretta delle coordinate Soldner-Cassini degli sviluppi catastali in coordinate conformi di Gauss e viceversa I.G.M.I.
Mario Menestrina	Trasformazione delle coordinate piane Soldner-Cassini degli sviluppi catastali in coordinate conformi di Gauss riferite ai fusi meridiani I.G.M.I.
Giovanni Boaga	Sul cambio dell'ellissoide di riferimento per i vertici delle reti geodetiche I.G.M.I. (Bollettino di geodesia n.4 1960)
Carlo Trombetti	Sul passaggio dalle coordinate piane gaussiane alle coordinate geografiche I.G.M.I.
Silvio Ballarin	Coordinate gaussiane di punti lontani dal meridiano fondamentale I.G.M.I. (Bollettino geodetico n.6/VII 1948)
Giovanni Silva	Sulla sostituzione di un ellissoide di riferimento ad un altro nel calcolo di una triangolazione I.G.M.I. (L'universo 1941)
R.Galletto	Aspetti cartografici nei sistemi informativi sul territorio comunicazione uff.le al 25° convegno naz.le SIFET (Torino 1980)
D.F.Marble	Geographic information systems: an overview Pecora 9: proceedings october 1984 - Sioux Falls SD.
J.P.Corbett	Topological principles in cartography: proceedings of the international symposium on Computer Assisted Cartography, Auto-Carto 2 (pp.61-65)

## **Appendice: l'informatica nei SIT**

### ***Prefazione***

L'informatica si configura originariamente come scienza che si occupa dell'organizzazione delle informazioni. Successivamente a tale termine sono state ricondotte anche tutte le questioni che riguardano i computer, e quindi hardware, software, ambienti operativi (sistemi operativi, ambienti e linguaggi di sviluppo, sistemi di gestione di basi di dati, ecc.).

L'organizzazione delle informazioni è una disciplina che, tenendo conto delle finalità per cui le informazioni vengono raccolte e delle modalità con cui dovranno essere analizzate ed elaborate, cerca di individuare soluzioni ottimali per la codifica e la archiviazione dei dati che quelle informazioni dovranno rappresentare (brevemente, intendiamo "informazione" la conoscenza che deriva dall'"interpretazione" di un "dato").

Afferiscono quindi all'informatica quelle scelte e decisioni in merito a codifiche e legende da adottare per la rappresentazione in archivio dei dati, ed alle strutturazioni da adottare per gli archivi. Tali decisioni naturalmente richiedono una comprensione delle caratteristiche delle informazioni che si stanno trattando, implicando una interazione del tecnico informatico con l'esperto di settore (che si tratti di un geografo, un medico, un archeologo, ecc.).

All'informatica afferiscono naturalmente anche quelle problematiche di definizione (e di adozione) di standard, intesi come strumenti utili allo scambio delle informazioni (standard di codifica, di strutturazione in formati di scambio, di documentazione, ecc.).

Ed infine all'informatica afferiscono tutte quelle problematiche connesse con la scelta della strumentazione hardware e degli ambienti e strumenti software da adottare per l'archiviazione dei dati e la loro elaborazione, acquisizione, restituzione (in forma grafica o meno).

### ***Organizzazione delle informazioni***

L'organizzazione delle informazioni, e quindi l'organizzazione dei dati, deve partire dagli aspetti dell'universo che si vogliono rappresentare mediante il modello semplificato che si vuole costruire, e deve naturalmente considerare le possibilità di gestione dati offerte dallo strumento (HW e SW) che si utilizza. In parole povere, bisogna individuare chiaramente quali sono le entità che si vogliono rappresentare tramite il modello, quali relazioni esistono tra esse, quali vincoli impone il sistema di gestione dati che si vuole adottare.

Possiamo scomporre tali operazioni progettuali in due parti: progettazione del modello logico e progettazione del modello fisico.

### **Modello logico e modello fisico**

La progettazione del modello logico si occupa della individuazione delle entità che si vogliono trattare, e delle relazioni esistenti tra esse.

La progettazione del modello fisico si occupa della individuazione di una (delle varie possibili) modalità di rappresentazione delle entità e delle relazioni esplicitate nel modello logico all'interno del sistema di gestione dati, tenendo conto dei vincoli imposti dal sistema stesso (vincoli nel tipo di dati trattati, di dimensioni, di prestazioni, ecc.).

Vi sono formalismi che aiutano nella progettazione del modello logico (ad esempio il "Modello Entità-Relazioni" proposto da P.P.Chen nel 1976).

Una volta definito il modello logico, che descrive il modello semplificato dell'universo che si vuole rappresentare esplicitandone entità e relazioni, si deve operare la scelta di una modalità di implementazione di tali entità e relazioni tramite le primitive e le funzionalità offerte da un sistema reale di gestione dei dati.

In pratica occorre individuare strutture fisiche e relazioni tra tabelle utili a rappresentare adeguatamente quanto descritto nel modello logico, nell'ambito delle possibilità offerte dal sistema (HW e SW) utilizzato.

Il "Modello Entità-Relazioni" però non è adeguato a descrivere entità geometriche, né relazioni topologiche tra tali entità. La Regione Lombardia ha affidato al prof.G.Pelagatti ed ad un nucleo di tecnici della società Lombardia Informatica l'incarico di studiare una estensione del modello ER, in modo da essere in grado di modellare anche entità di tipo geometrico: da tale lavoro è nato il modello concettuale GEO-ER. Mediante tale formalismo la Regione Lombardia ha definito la strutturazione dei dati della sua CTR 1:10.000, ed è ora in corso una iniziativa interregionale per lo studio di una organizzazione dei dati di una prossima Carta Tecnica in scala 1:50.000 (fermo restando i problemi di rappresentazione dei dati alla scala 1:50.000, che indurrebbero ad orientarsi verso una cartografia simbolica, è comunque possibile costruire una cartografia

tecnica destinata ad un utilizzo su elaboratore, e da cui di volta in volta si derivino opportune forme simboliche per la rappresentazione su carta (versione Simbolica)).

### **Standard**

Nel settore dell'informatica si parla spesso di standard, che servono per definire regole, modalità di collegamento, modalità di scambio e di documentazione dei dati, modalità di costruzione degli archivi, ecc. Vi sono standard definiti a livello locale (standard aziendali, a livello di ente o di gruppi di enti, ecc.), a livello nazionale (definiti dagli organi di definizione ed emanazione di standard, o da organi statali (AIPA, IGM, Catasto, ecc.)), a livello europeo, a livello mondiale.

Vi sono poi standard de-facto, imposti dal particolare successo o dalla particolare diffusione di un certo prodotto HW o SW (si pensi ad esempio al formato di scambio di dati CAD DXF).

Ad esempio, negli Stati Uniti è stato definito uno standard per la documentazione degli archivi geografici (FGDC), con l'obbligo per tutti i soggetti pubblici di pubblicare, su Internet, secondo lo standard in questione, la documentazione relativa agli archivi posseduti, in modo da facilitare la diffusione delle informazioni disponibili ed evitare duplicazioni di iniziative di costruzione archivi.

In Europa è in elaborazione lo standard CEM/TC 287, per la documentazione degli archivi geografici.

### **Strumentazione HW e SW**

Un breve accenno a quelli che sono gli strumenti hardware e software necessari, o più frequenti, per la elaborazione di dati geografici.

### **Elaboratore**

I computer per elaborare dati geografici possono essere suddivisi in due principali categorie:

- le workstations a tecnologia RISC (tipicamente con sistema operativo UNIX), che hanno costi elevati (intorno ai 50 milioni), con elevate prestazioni (in genere almeno 128 Mbytes di RAM, circa 10 Gbytes di Hard-disk a tecnologia SCSI, scheda grafica ad elevate prestazioni, monitor 19"/21"), finalizzati a supportare pacchetti GIS (es. ARCINFO) o per elaborazione di immagini (es. ERDAS IMAGINE);
- i PC, a tecnologia WINTEL (Windows+CPU INTEL), con costi relativamente bassi (intorno ai 10 milioni), con prestazioni adeguate a supportare pacchetti GIS (es. ARCINFO per NT, ARCVIEW, AUTOMAP, ecc.) - (in genere 32/64 Mbytes di RAM, da 3 a 9 Gbytes di Hard-disk EIDE o SCSI, scheda grafica ad elevate prestazioni, monitor 17"/19"/21").

Naturalmente in entrambe le categorie si assiste ad un costante aumento delle prestazioni, con prezzi costanti o in diminuzione.

### **Periferiche per il data-entry**

### **Periferiche per il data-publishing**

### **Ambiente software di base**

Finora i sistemi per l'elaborazione di dati geografici più ricchi e complessi operavano quasi esclusivamente in ambiente UNIX (alcuni anche VMS), mentre da un po' di tempo a questa parte si assiste al rilascio di versioni per Windows NT.

Altri prodotti, pensati per poter operare su PC (CPU INTEL), operano invece in ambiente Windows (W95 o W NT).

Si assiste, comunque, ad una progressiva transizione di software nati in ambiente UNIX anche ad ambiente Windows (in particolare a Windows NT).

### **Software applicativo**



## Appendice: i GIS nei SIT

### **Prefazione**

Quello che segue è una breve introduzione ai Geographical Information Systems, che si propone semplicemente di fornire alcune definizioni di base, più qualche informazione su alcune caratteristiche di un ben determinato strumento GIS: ARC/INFO.

Un GIS va usato e va conosciuto avendo comunque piena consapevolezza di quelli che sono gli elementi fondamentali di un Sistema Informativo Territoriale: le Informazioni e le Competenze necessarie per comprendere ed usare correttamente le informazioni disponibili. Ricordiamo infatti che può essere realizzato un sistema informativo (e quindi anche un sistema informativo territoriale) semplicemente raccogliendo ed organizzando in maniera adeguata le informazioni necessarie, e disponendo della competenza necessaria per poter "usare" correttamente tali informazioni (conoscendone le caratteristiche, i limiti e le potenzialità). Un sistema informativo consente di modellare fenomeni reali, rappresentandoli tramite un insieme di informazioni (opportunamente organizzate e correlate tra loro), ma proprio perché si tratta di un modello semplificato occorre la massima attenzione nell'usarlo, per non incorrere in valutazioni errate e non estrapolare "false conoscenze". L'utilizzo degli strumenti informatici aiuta molto l'uomo nel manipolare i modelli che costruisce, ma resta compito e responsabilità dell'uomo saper "leggere" ed "interpretare" le risposte che il modello fornisce a seguito di particolari domande o analisi. Nel settore dei sistemi informativi territoriali il supporto fornito all'uomo dalla tecnologia informatica (in termini di hardware, software e meccanismi fondamentali di organizzazione dei dati) è per consuetudine chiamato GIS (Geographical Information Systems). Tali strumenti offrono enormi potenzialità di analisi dei dati, e sono di notevole complessità (devono gestire contemporaneamente dati di tipo geometrico per descrivere posizione e forma degli oggetti reali presenti sulla superficie terrestre, e dati di tipo attributo, che descrivono caratteristiche e misure proprie degli oggetti reali, e quindi devono essere opportunamente collegati ai dati geometrici), ma di per se non sono assolutamente sufficienti (e nemmeno indispensabili) per poter implementare un Sistema Informativo Territoriale. Purtroppo si fa ancora molta confusione tra sistemi informativi e gli strumenti che ci aiutano nella loro implementazione: forniremo nel seguito una chiara definizione di GIS, connotandolo come strumento, e quindi parte, di un SIT. Le componenti principali sono i dati e le competenze umane: sulle seconde si può dire poco, in quanto si costruiscono con l'esperienza ed una quotidiana confidenza con i dati e con le problematiche di settore. Per i dati è invece importante evidenziare che per poter diventare "informazioni" devono essere correttamente interpretati dall'uomo, e per garantire tale corretta interpretazione devono essere adeguatamente conosciuti e valutati, e quindi in ultima analisi devono essere adeguatamente ed esaurientemente documentati: i dati che descrivono altri dati si chiamano "metainformazione" (ed è un altro argomento a cui accenneremo).

Sono state fornite diverse definizioni di GIS. Ad esempio Ed Parsons (Università di Cambridge) afferma: "GIS è difficile da definire con precisione, in quanto può essere visto operare a livelli differenti, e può rappresentare cose diverse per persone diverse. Per alcuni, un GIS è un insieme di strumenti software che vengono utilizzati per l'acquisizione, la conservazione, il trattamento, l'analisi e la visualizzazione di informazione geografica. Questa è una definizione tecnica, che può enfatizzare lo sviluppo del GIS come una combinazione di funzionalità CAD (Computer Aided Design) e di trattamento di dati di cartografia digitale insieme con strumenti di gestione di Database. Per altri, invece, GIS può essere una filosofia, un modo di prendere decisioni nell'ambito di una organizzazione dove tutte le informazioni sono conservate in maniera centralizzata ed sono riferite alle loro localizzazioni (sono, cioè, georeferenziate). Questa è una visione più strategica."

La ESRI (produttrice del sistema software ARC/INFO) afferma, nei suoi "White Papers" (documenti monografici su prodotti o problematiche del settore): "Un GIS può essere definito, in senso stretto, come l'hardware ed il software che consente di analizzare l'informazione geografica." (Geographic Information System Solutions for Defense - Aug.95). "Un GIS è un insieme di operatori spaziali che operano su un database spaziale per mettere in rapporto l'operatore con il mondo reale. Un GIS modella la realtà geografica, e specificatamente quegli aspetti che sono di interesse di una applicazione." (ARC/INFO: The World's GIS - Mar.95). "Un Geographic Information System è una combinazione di elementi progettati per memorizzare, ricercare, manipolare e visualizzare dati geografici - informazioni circa i luoghi. E' un insieme composto da quattro componenti principali: hardware, software, dati ed un operatore. L'hardware è un computer potente. Il software è un potente insieme di istruzioni e procedure che possono essere utilizzate. I dati geografici sono informazioni digitali circa i luoghi, in vari e diversi formati. L'operatore è una persona che non conosce tutte le risposte, a può anche non conoscere tutte le domande, ma che vuole conoscere meglio i luoghi, e sa come usare in maniera creativa gli strumenti per riconoscere le caratteristiche dei

luoghi.” (GIS in K-12 Education - Apr.95). “Un GIS è molto più che semplicemente hardware e software. Alla ESRI noi crediamo che queste tecnologie devono unirsi con dati, persone ed applicazioni per costituire un sistema di elaborazione geografica completamente funzionale. La ESRI fornisce più che la semplice tecnologia: noi forniamo soluzioni GIS complete. Le cinque componenti di un GIS - applicazioni, persone, dati, hardware e software - rappresentano anche gli impegni della ESRI nei GIS.” (ARC/INFO: The World’s GIS - Mar.95).

L’IMO (Information Market Observatory) della Commissione Europea riporta: “Il GIS è, essenzialmente, un insieme di strumenti che consentano la raccolta, la memorizzazione, la rappresentazione, la ricerca, l’analisi e la visualizzazione di dati georeferenziati. L’Associazione per l’Informazione Geografica (AGI) Britannica definisce, nel suo “Dizionario GIS”, un GIS come ‘Un sistema per la acquisizione, la memorizzazione, il controllo, la integrazione, la manipolazione, l’analisi e la visualizzazione dei dati che sono spazialmente riferiti alla Terra. Il GIS è normalmente considerato composto da un database digitale di dati georeferenziati e da adeguato software applicativo.’ Molte tecnologie vengono accolte sotto il titolo GIS, compresi Remote Sensing (Telerilevamento), Computerised Mapping (Cartografia Numerica), Database and Spatial Analysis (analisi spaziale).” (Geographic Information Systems in Europe: Problems and Potential - IMO, Luxembourg Jun.95).

Altre definizioni di GIS sono riportate nel documento “Frequently Asked Questions about Geographic Information Systems”, distribuito via Internet ai seguenti indirizzi:

<ftp://ftp.census.gov/pub/geo/gis-faq.txt><ftp://abraxas.adhelphi.edu/pub/gis/FAQ>

<http://www.census.gov/geo/www/faq-index.html> “Cosa è un GIS ?:

‘Un sistema informativo progettato per operare con dati georeferenziati. In altre parole un GIS è sia un database con specifiche funzionalità per operare su dati georeferenziati, che un insieme di strumenti per lavorare (analizzare) i dati.’ (Star and Estes, 1990)

‘Un sistema per la acquisizione, la memorizzazione, il controllo, la integrazione, la manipolazione, l’analisi e la visualizzazione dei dati che sono spazialmente riferiti alla Terra.’ (Chorley, 1987)

‘Un sistema di hardware, software e procedure progettate per supportare l’acquisizione, la gestione, la manipolazione, l’analisi, la modellazione e la visualizzazione di dati georeferenziati per risolvere complessi problemi di pianificazione e di gestione.’ (Conferenza alla NCGIA di David Cowen, 1989)

‘Un pacchetto integrato per l’acquisizione, la memorizzazione, l’analisi e la visualizzazione di informazioni geografiche... di cui l’analisi è l’aspetto più significativo.’ (Gaile and Willmott, 1989)

‘I GIS sono contemporaneamente il telescopio, il microscopio, il computer e la fotocopiatrice per l’analisi e la sintesi dei dati geografici.’ (Abler, 1988)

‘Cosa differenzia un vero GIS da altri strumenti che, nella pubblicità, vengono spacciati per GIS ? Una delle distinzioni è la capacità di effettuare delle operazioni di “overlay” (sovrapposizione). Non semplicemente disegnare due oggetti l’uno sopra l’altro, bensì l’operazione logica. Anche la creazione di “buffer” in maniera automatica è prerogativa di un autentico strumento GIS. La vera differenziazione è tra mapping (cartografia numerica) ed analisi.’ (Duane F.Marble - [dmarble@magnus.acs.ohio-state.edu](mailto:dmarble@magnus.acs.ohio-state.edu)).

La definizione che adotteremo per GIS è: **“Un sistema HW/SW dotato di tutti quegli strumenti necessari per supportare un operatore nelle operazioni di raccolta, di organizzazione e di analisi del patrimonio informativo disponibile in modo da derivarne nuove conoscenze e da poterle rappresentare per comunicarle ad altri”**. Tale definizione evidenzia lo scopo di sistema di supporto alle decisioni (DSS Decision Support System) di un GIS, ed il suo ruolo di strumento per aiutare l’uomo nella organizzazione e sistematizzazione del patrimonio informativo.

# Componenti di un Sistema Informativo Territoriale



In base alla definizione data, un GIS è quell'insieme hardware e software progettato per supportare un operatore nelle operazioni di raccolta, di organizzazione e di analisi del patrimonio informativo disponibile. Di conseguenza un buon computer, dotato del pacchetto software ARC/INFO(per esempio) è un sistema GIS. Quali altre componenti sono necessarie per la costituzione di un Sistema Informativo

Territoriale ?

Sicuramente serviranno delle periferiche per effettuare il data-entry: digitizer, scanner, ....

Periferiche per la restituzione (output) grafica delle elaborazioni fatte con il GIS: stampanti, plotters, ....

Dati geografici, opportunamente organizzati e strutturati, di qualità nota ed adeguata agli scopi di attivazione del SIT.

Operatori in grado di "manovrare" il sistema, e quindi con la competenza necessaria per usare il GIS, le periferiche, ed in grado di valutare appieno i limiti e le potenzialità dei dati disponibili (i dati sicuramente peccheranno per problemi di qualità e di completezza, e dovranno essere utilizzati con la necessaria cautela)..

E soprattutto una organizzazione che consenta di inserire correttamente il Sistema Informativo ed il suo uso nei processi decisionali e di gestione che impattano sul territorio, in modo da consentire un sufficiente supporto alle attività decisionali e pianificatorie e, successivamente, nella verifica degli effetti delle decisioni prese.

L'attivazione di un SIT, in quanto principalmente problema "organizzativo", e legato alla definizione del ruolo del SIT nei confronti di tutti gli altri settori dell'ente con competenze sul Territorio, è un argomento che va necessariamente affrontato caso per caso, riconoscendo che esiste necessariamente una notevole differenza tra il SIT di un Ministero, quello di una Regione, quello di una azienda di gestione di reti tecnologiche, ecc.

Concentriamoci invece sull'esame di quelle che sono le caratteristiche delle altre componenti del SIT: il GIS, i dati, le problematiche di data-entry e di output.

## Il GIS

Volendo descrivere cosa è un GIS elencando le domande a cui è in grado di rispondere (o dovrebbe, data per scontata la disponibilità dei dati necessari), possiamo riportare le seguenti cinque tipologie:

- Localizzazione - Cosa c'è in quella zona?

La prima delle domande richiede di conoscere cosa c'è in una particolare localizzazione. Tale localizzazione può essere espressa in diversi modi: tramite il nome di una località, un codice postale, una coppia di coordinate. Viene operata semplicemente una interrogazione della base dati esistente.

- Condizione - Dov'è?

La seconda domanda è complementare alla prima, e richiede di effettuare una analisi spaziale per poter ottenere la risposta. Invece che voler individuare cosa c'è in una certa posizione, noi chiediamo di cercare tutte le localizzazioni in cui siano soddisfatti una serie di requisiti (cerchiamo ad esempio "una porzione di territorio non boscato, di almeno 2000 metri quadri di superficie, entro 100 metri di distanza da una strada, e con tipo di suolo adeguato per l'edilizia")

- Tendenza - Cosa è cambiato nel tempo?

La terza domanda può implicare le due precedenti, e si pone come obiettivo di individuare le differenze tra situazioni avutesi nel tempo in una medesima area.

- Tipo di distribuzione spaziale - Che distribuzione spaziale è presente?

Questa domanda è più complessa. Si potrebbe porre una domanda di questo tipo per cercare di individuare se il cancro sia una delle principali cause di morte tra i residenti in prossimità di una centrale nucleare.

- Modelli di simulazione - Cosa succederebbe se ...?

Domande di questo tipo vengono poste per cercare di determinare cosa succederebbe se, per esempio, venisse aggiunta una nuova strada ad una rete stradale, o se vi fossero infiltrazioni di una sostanza tossica nelle riserve d'acqua locali. Per rispondere a tali domande occorre, oltre alle informazioni geografiche, disporre anche di altre informazioni che consentano di "modellare" la "risposta" del sistema (del territorio, o di un suo sottoinsieme) a certi "impatti".

## ***I dati geografici***

Nei dati geografici la componente che ne definisce la posizione spaziale (dato o componente localizzante) è in genere costituita da coordinate cartografiche (possono essere coordinate geografiche, facenti riferimento ad uno specifico ellissoide, oppure essere coordinate piane, derivate da quelle geografiche tramite l'adozione di un particolare sistema di proiezione). Molto spesso, però, si opera una localizzazione indiretta, tramite l'adozione di un geo-codice (una sorta di puntatore o di collegamento) che mette in relazione l'informazione geografica ad un altro oggetto geografico dotato di localizzazione espressa tramite coordinate. Ad esempio, se io ho già acquisito l'insieme dei poligoni che rappresentano i comuni, ed a ciascuno di essi ho attribuito un codice (ad esempio il codice ISTAT) che lo individua univocamente, successivamente tutte le informazioni relative ai comuni possono essere georeferenziate collegandole, tramite il codice identificativo, ai poligoni rilevati in precedenza. Lo stesso meccanismo di georeferenziazione indiretta può essere realizzato tramite i Codici di Avviamento Postale, gli indirizzi (via e numero civico), le particelle catastali, la USL di appartenenza, ecc. (a condizione che precedentemente io abbia reso disponibile una base di dati relativa alle zone CAP, alla maglia stradale dotata dei numeri civici, alla ripartizione del territorio in particelle catastali od in Unità Sanitarie Locali).

I dati Socio-Economici sono in genere largamente disponibili, e spesso sono raccolti in occasione di censimenti. Questi dati sono utilizzati anche per costruire particolari indici e profili che consentono delle classificazioni di porzioni di territorio sulla base di caratteristiche della popolazione residente: questo settore, che può essere definito Geo-demografia, è tra i più interessanti, e trova particolare applicazione per scopi di marketing o di pianificazione.

I dati relativi al Territorio derivano dalla cartografia topografica, dalle varie cartografie tematiche (aspetti geologici, caratteristiche dei suoli, ecc.), e, da diversi anni, anche dal telerilevamento (dati da satellite e da foto aeree)..

## ***I modelli di dati: vector e raster***

Un sistema GIS può vedere il mondo in due maniere. La prima deriva dalla cartografia (tradizionale ed automatica) e vede il mondo come un mosaico di linee e punti che rappresentano la localizzazione o la delimitazione di entità geografiche: questo modello è chiamato **Modello dei Dati Vettoriale (Vector)**.

L'altra ha origine nella tecnologia delle immagini da satellite, che rappresentano la terra come una griglia regolare di celle, dove ciascun elemento della griglia è chiamato **Pixel** (Picture Element). Questo modello è chiamato **Modello dei Dati Raster (o Grid)**.

Ciascun modello ha i suoi punti di forza e di debolezza, e la scelta del modello da usare dipende dalla natura del lavoro che si vuole compiere.

I punti di forza del modello vettoriale risiedono nella notevole precisione con cui è possibile localizzare e rappresentare punti e linee. Tale approccio è particolarmente utile per analisi che richiedono un accurato posizionamento, come in applicazioni ingegneristiche o di gestione di reti tecnologiche. L'adozione del modello vettoriale si presta bene a rappresentare quelle delimitazioni in cui è chiaramente definito il limite tra un'entità e l'altra (ad esempio un limite amministrativo).

Il modello raster usa in genere una matrice per rappresentare le informazioni. Ciascun pixel rappresenta una porzione della superficie terrestre, laddove la risoluzione del modello dipende dalle dimensioni adottate per la cella. Quindi la precisione con cui è rappresentata e modellata la realtà dipende dalle dimensioni della cella: più è piccola la cella, maggiore è il dettaglio con cui è rappresentata la realtà, ma anche maggiori sono le dimensioni degli archivi. Il modello raster è particolarmente adeguato a descrivere fenomeni per i quali non sia chiara la delimitazione di singole aree (tipo di suolo, composizione del suolo, tipo di vegetazione,

temperatura a terra, temperatura in quota, ecc.), e consente di mettere in relazione più griglie, relative a tematismi distinti, utilizzando meccanismi di analisi matriciale facili e veloci da implementare. Inoltre è facile integrare i dati sopra descritti con quelli provenienti dai satelliti per telerilevamento. Per estensione, al modello raster si rifanno anche i dati relativi ad una qualsiasi immagine, in cui a ciascuna cella corrisponde una informazione espressa in livelli di grigio (od in una composizione dei tre colori base). Al modello raster si rifanno anche i Modelli Digitali del Terreno (DTM o DEM) espressi in forma di Grid, strutturati in celle regolari, dove a ciascuna cella sono associate informazioni quali la quota (media, o del punto centrale) del pixel, la sua pendenza, la sua esposizione. Diventa particolarmente interessante poter effettuare particolari analisi, quali ricavare una vista tridimensionale del territorio, o anche "poggiare" una immagine (una foto aerea od una immagine da satellite in falsi colori) sulla superficie descritta dal DTM..

## Vector

### Tipi di dato: punti, archi e poligoni

The diagram illustrates three types of vector data: 1. Points: A set of six points labeled +1 through +6 arranged in a grid. 2. Polygons: Three irregular shapes labeled 1, 2, and 3. 3. Arches: Two jagged lines labeled 1 and 2.

- **Punti**  
oggetti zero-dimensionali
- **Archi**  
oggetti mono-dimensionali  
(hanno lunghezza)
- **Poligoni**  
oggetti bi-dimensionali  
(hanno area)

Nel modello VECTOR (ricordiamo che in ARC/INFO i dati vector sono caratterizzati dal descrivere solo l'andamento planimetrico, e dunque non possono modellare entità tridimensionali) i dati inseriti nel GIS si rifanno ai seguenti tipi semplici: Punti - si usano per modellare entità geografiche delle quali non è possibile (o interessante)

evidenziare alcuna dimensione, ma di cui interessa unicamente la posizione, che viene rappresentata tramite una coppia di coordinate.

Archi - si usano per modellare entità geografiche delle quali è possibile (o interessante) evidenziare solo una dimensione (entità con estensione lineare); gli oggetti geografici vengono rappresentati tramite una successione di coppie di coordinate (ogni coppia di coordinate, o punto, corrisponde ad un vertice della poligonale che descrive l'andamento della linea; il primo e l'ultimo vertice vengono chiamati nodi)

Poligoni - si usano per modellare entità geografiche delle quali è possibile (o interessante) evidenziare due dimensioni (entità con estensione superficiale); gli oggetti geografici vengono rappresentati tramite una poligonale chiusa, composta da archi collegati tra loro (archi che si collegano in corrispondenza dei nodi), che racchiude l'area interessata.

In ARC/INFO a ciascuno di questi tipi di dato è associata una serie di informazioni (attributi) memorizzate in tabelle particolari: per punti e poligoni le tabelle corrispondenti ad una copertura **COVER** si chiamano **COVER.PAT** (da cui ne consegue l'impossibilità di memorizzare in una stessa copertura punti e poligoni), per gli archi la tabella si chiama **COVER.AAT**.

Esistono tabelle anche per NODI (**COVER.NAT**), ROUTE (sia CLASSE la classe di route definita, avremo la tabella **COVER.RATCLASSE**), SEZIONI (sia CLASSE la classe di sezioni definita, avremo la tabella **COVER.SECCLASSE**), REGIONI (sia CLASSE la classe di regioni definita, avremo la tabella **COVER.PATCLASSE**), ANNOTAZIONI (sia CLASSE la classe di annotazioni definita, avremo la tabella **COVER.TATCLASSE**).

## Attributi dei punti: tabella .PAT

AREA	PERIMETER	COVER#	COVER-ID	Attr.1	Attr.2
0	0	1	500	POZZO	....
0	0	2	501	SORGENTE	....
0	0	3	502	POZZO	....
0	0	4	603	POZZO	....
0	0	5	508	SORGENTE	....

- AREA (area=0)
- PERIMETER (perimetro=0)
- COVER# (univoco, progressivo, gestito da ARC/INFO)
- COVER-ID (identificativo attribuito dall'utente)
- Altri attributi definiti dall'utente

## Attributi dei poligoni: tabella .PAT

AREA	PERIMETER	COVER#	COVER-ID	Attr.1	Attr.2
-19862773	82992987,67	1	0		
157819,13	321099,43	2	501	FRANA	....
689092,03	923480,41	3	502	CAVA	....
983294,64	23786989,9	4	603	CAVA	....
32737,54	65627,85	5	508	FRANA	....

- AREA (area del poligono, negativa per il poligono "Resto Del Mondo", che involupa tutta la estensione della COVER)
- PERIMETER (perimetro del poligono)
- COVER# (univoco, progressivo, gestito da ARC/INFO)
- COVER-ID (identificativo attribuito dall'utente)
- Altri attributi definiti dall'utente

## Attributi degli archi: tabella .AAT

FNODE#	TNODE#	LPOLY#	RPOLY#	LENGTH	COVER#	COVER-ID	Attr.1
7	8	1	5	54,34	1	30	.....
4	5	1	3	57,33	2	32	.....
8	3	7	3	73,11	3	31	.....
4	9	4	7	53,8	4	35	.....

FNODE# (nodo partenza)      TNODE# (nodo arrivo)  
 LPOLY# (poligono a sx, o 0 se COVER non contiene poligoni)  
 RPOLY# (poligono a dx, o 0 se COVER non contiene poligoni)  
 LENGTH (lunghezza)      COVER# (id.univoco A/I)  
 COVER-ID (id.utente)      Altri attributi utente

### Raster

## Tipi di dato: griglie, DEM ed immagini

- Matrici con celle di dimensioni costanti
- Nelle griglie le celle contengono valori numerici o alfanumerici
- Nei Digital Elevation Model (Lattice per ARC/INFO) le celle contengono numeri reali
- Nelle immagini le celle contengono numeri che indicano la “quantità” di un certo colore (RGB, CMYK, BW)

Nel caso di griglie (chiamando genericamente in tal modo sia le griglie vere e proprie, sia i DEM e le immagini), un parametro fondamentale è la risoluzione, ovvero la dimensione della cella elementare. Maggiore è la risoluzione (e quindi minore è la dimensione della cella elementare), maggiore è il dettaglio con cui posso descrivere e leggere un certo tematismo.

Naturalmente la risoluzione è strettamente collegata anche alle dimensioni assunte dall'archivio: raddoppiando la risoluzione (dimezzando la dimensione della cella) quadruplico le dimensioni dell'archivio, poiché quadruplico il numero di celle (o pixel).

Va valutato attentamente quale grado di risoluzione adottare: una risoluzione grossolana può inficiare le capacità di analisi, mentre una risoluzione eccessiva può dimostrarsi inutile, e comunque comportare anche la impossibilità pratica a gestire una mole troppo grossa di dati. Ancora una volta si evidenzia il ruolo fondamentale dell'operatore che, con la sua competenza ed esperienza (e valutando anche aspetti organizzativi ed economici), deve essere in grado di decidere la risoluzione ottimale da adottare (che sarà diversa, di volta in volta, in base alle caratteristiche di “grana” e di variabilità spaziale dello specifico tematismo da modellare)..

## Funzionalità di un GIS

Quali sono le funzionalità che tipicamente un GIS mette a disposizione? Facendo riferimento ad ARC/INFO, che ha conquistato una posizione di sicura preminenza rispetto ad altri strumenti analoghi, possiamo raggruppare le funzionalità messe a disposizione nelle seguenti classi:

*Data entry and edit - Acquisizione dei dati*

*Data analysis - Analisi dei dati*

*Data management - Gestione dei dati*

*Custom application building - Personalizzazione mediante lo sviluppo di applicazioni*

*Cartographic production - Preparazione e vestizione dei prodotti grafici in uscita*

Naturalmente il sistema GIS è in grado di operare solo su particolari tipi di dati (features), nel caso di ARC/INFO i principali sono:

*Arc - Archi (linee intese come sequenze di vertici)*

*Node - Nodi (punti a cui convergono o da cui partono archi)*

*Polygon - Poligoni (aree racchiuse da un insieme di archi che ne descrivono il contorno)*

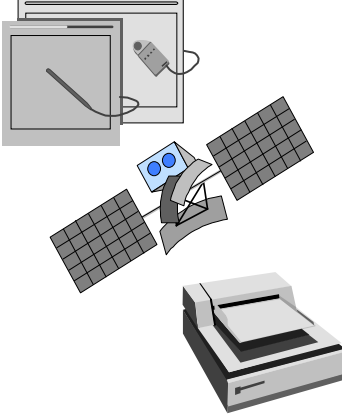
*Label point - Punti etichetta (oggetti di tipo puntuale, oppure centroidi di poligoni)*

*Annotation - Annotazioni (Testi posizionati graficamente)*

La Coverage (Copertura) è l'insieme minimo di dati gestito da ARC/INFO, e contiene i dati localizzanti e tematici relativi agli oggetti geografici in una data area. Una copertura corrisponde ad uno strato tematico di una mappa, ed in genere contiene solo un tipo di elementi geografici omogenei (strade, o particelle catastali, o foreste, ecc.). Una copertura può contenere diversi tipi di "features": annotazioni, archi, punti, ecc. Un tema è una vista, definita dall'utente, del contenuto di una copertura, e prende in considerazione un solo insieme di "features" (e quindi potrà definire un tema relativo ai soli archi, o alle sole annotazioni, ecc.).

## Data entry and edit

### Data entry and edit



- Digitalizzazione da tablet
- Digitalizzazione a video
- Acquisizione da scanner
- Inserimento manuale o da file ASCII esistente
- Dati da stereorestitutore, da stazione totale, da GPS
- Acquisizione dati tabellari da altri RDBMS
- Conversione da altri formati

Digitalizzazione da tavoletta grafica (o da digitizer) - la digitalizzazione viene effettuata acquisendo punti, linee e contorni di poligoni mediante il cursore del digitizer, assegnando contestualmente a ciascun oggetto digitalizzato un opportuno identificatore (un numero) che consenta successivamente di collegare all'oggetto i suoi

attributi e codici. Occorre acquisire anche una serie di TICS (punti di cui sono note le coordinate a terra, ad esempio punti trigonometrici, i vertici della carta, intersezioni del reticolato chilometrico, ecc.) in modo da poter poi convertire l'intero archivio creato con la digitalizzazione da coordinate strumento a coordinate terreno.

Digitalizzazione a video - la digitalizzazione viene effettuata acquisendo punti, linee e contorni di poligoni mediante il mouse, avendo sul video, in sottofondo, una immagine raster su cui siano visibili gli oggetti da acquisire.

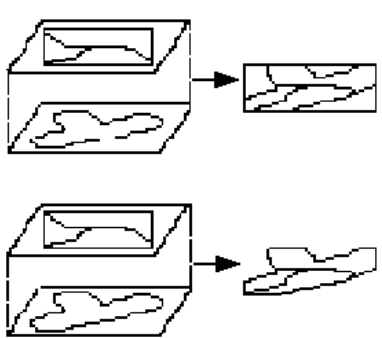
Acquisizione da scanner - la carta viene acquisita tramite scanner: a questo punto è possibile, oltre ad effettuare una digitalizzazione a video, come precedentemente descritto, anche operare una "vettorializzazione" dell'immagine ottenuta. Programmi appositamente progettati sono in grado,



“leggendo” la sequenza di punti bianchi e neri presenti nell’immagine raster, di ricostruire la sequenza di vertici che costituiscono le linee presenti sulla carta scandita. Naturalmente le carte preparate per operazioni di scansione destinate alla vettorializzazione devono essere “adeguate” allo scopo, e quindi non devono riportare altro che le linee da acquisire e delle crocette in corrispondenza dei TICS per la conversione da coordinate strumento a coordinate terreno; le linee devono essere omogenee per spessore, non troppo sottili (in modo da non assottigliarsi troppo durante la scansione); gli identificatori delle linee ed i centroidi dei poligoni dovranno essere poi inseriti mediante editing a video, così come il riconoscimento dei crocicchi per la digitalizzazione dei TICS e l’inserimento delle corrispondenti coordinate terreno. Acquisizione manuale o da file ASCII esistente - esistono delle modalità di inserimento dati che consentono di acquisire punti, linee e poligoni inserendole coordinate dei relativi vertici; inoltre, tramite il comando GENERATE è possibile acquisire oggetti geografici tramite la lettura di un file ASCII (opportunamente strutturato). E’ possibile interfacciare, mediante piccole applicazioni scritte nel linguaggio AML, diversi strumenti di acquisizione (stereorestitutori, GPS (Global Positioning Systems), stazioni totali) al GIS. E’ possibile inoltre recepire i dati tabellari conservati in altri RDBMS (Relational DataBase Management Systems) mediante adeguati formati di scambio comuni ai diversi sistemi di gestione basi di dati. E’ infine possibile importare dati gestiti da altri sistemi GIS e CAD, mediante la conversione dai rispettivi formati di interscambio, DXF, IGDS, IGES, DLG, VPF, ecc.

## Data Analysis

### Data analysis: tools di ARC/INFO



- Contiguity tools:  
trovano le aree  
adiacenti (entro una  
certa distanza) ad un  
insieme di aree  
predefinito
- Coincidence tools:
  - polygon overlay
  - point and line overlay

Gli strumenti di “Data analysis” sono quelli orientati all’individuazione delle relazioni spaziali tra oggetti (è contiguo a..., è entro una distanza di .. da ..., contiene ....., l’intersezione tra ... e ... è composta da ...).

Se analizzando una tabella possiamo cercare tutte le occorrenze di una particolare stringa di caratteri (ad esempio possiamo cercare i richiami ad una

certa legge). Parimenti potremmo essere interessati a cercare tutti i poligoni (relativi ad aree urbanizzate) che siano attraversati da un certo tipo di linee (ad esempio corsi d’acqua). Potremo essere interessati a contare quante discariche siano presenti in ciascun comune od in ciascun bacino idrografico, e sommarne le capacità, per evidenziare la distribuzione per comune o per bacino idrografico dei rifiuti urbani. Questo tipo di analisi rientrano nella classe delle analisi spaziali, e consentono di derivare nuove informazioni evidenziando le relazioni spaziali esistenti tra strati tematici distinti (ed anche non omogenei)..

## Data analysis: connectivity tools (NETWORK)



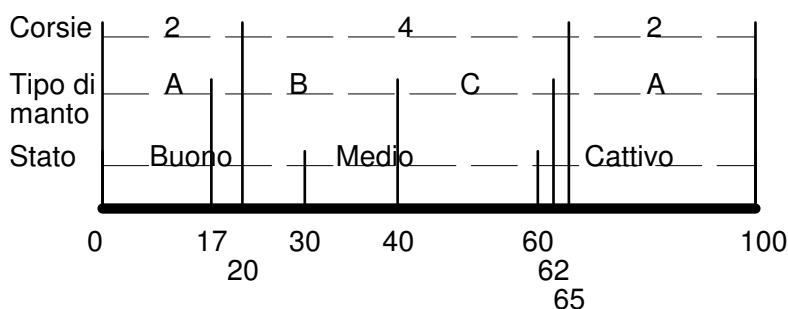
- Pathfinding (individuazione del percorso migliore)
- Dynamic segmentation (segmentazione dinamica di un percorso, suddividendolo logicamente in corrispondenza di variazioni di attributi: es. stato di manutenzione, tipo di superficie, numero di corsie, velocità consentita)

Un problema fondamentale nell'analisi di reti è quello di cercare il percorso più breve, o di minor costo, che consenta di visitare una serie di luoghi collegati da un reticolo stradale. Il costo può essere determinato sulla base di un attributo numerico degli elementi della rete. Per esempio la distanza od il tempo di viaggio possono essere utilizzati per

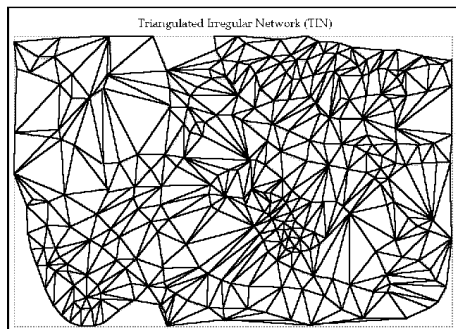
calcolare il percorso più breve in una rete di trasporto, oppure una opportuna combinazione di diversi fattori può essere usata per calcolare il costo in termini monetari delle alternative possibili.

La segmentazione dinamica consente di immaginare sovrapposta ad una porzione di elemento lineare una serie di ripartizioni collegate al variare di specifici attributi. Data una strada, composta ad esempio da un unico arco (da incrocio ad incrocio con altre strade), a cui voglio abbinare informazioni circa il tipo di manto (ad esempio composto da diverse tipologie di asfalto), il numero di corsie (in certi tratti è a 2 corsie, in altri a 4 corsie), lo stato di manutenzione (tratti in buone condizioni, altri in condizioni medie, altri in condizioni cattive), tenuto anche conto che alcuni di questi attributi sono soggetti a variare nel tempo (ad esempio lo stato di manutenzione od il tipo di manto), posso evitare di spezzare quell'unico arco in decine di archi in corrispondenza del variare anche di uno solo degli attributi sopra elencati adottando la segmentazione dinamica. In pratica, detto 0 il punto corrispondente ad uno degli estremi dell'arco e 100 (ad esempio) il punto corrispondente all'altro estremo, possiamo abbinare le informazioni relative ai diversi attributi relativi alla strada indicando la posizione in cui questi variano.

Ad esempio:



## Data analysis: surface modeling (TIN)



- Curve di livello
- Pendenza, esposizione
- Generazione dei poligoni di Thiessen
- Profili altimetrici
- Analisi di visibilità di un sito
- Generazione analitica delle ombre, data la posizione del sole

Tramite il modulo aggiuntivo TIN è possibile generare, analizzare e rappresentare modelli altimetrici basati su reti irregolari di triangoli (Triangulated Irregular Network). In pratica viene generato un insieme di triangoli, adiacenti tra loro, per i vertici dei quali è nota la quota: ciascun triangolo rappresenta una

porzione di superficie, di cui sono note l'altezza dei tre vertici, la pendenza massima e l'esposizione.

Da un TIN è possibile derivare automaticamente una griglia (GRID), delle curve di livello, delle rappresentazioni di pendenza, di esposizione, di luminosità, di visibilità da un certo punto, ecc.

E' possibile, data una linea (non necessariamente rettilinea), ricavare il profilo altimetrico corrispondente all'intersezione della superficie modellata dal TIN con quella linea.

E' possibile generare delle viste tridimensionali del territorio, ruotarle ed esaminarle da diversi punti di vista.

E' possibile "poggiare" sulla superficie data dal TIN una immagine (ad esempio una immagine da satellite, od una ortoimmagine).

Tramite una operazione di triangolazione, si può ricavare una ripartizione del territorio di interesse in poligoni di Thiessen, a partire da un insieme di punti: in pratica vengono generati quei poligoni che contengono ciascuno un solo punto, e tali che la linea di confine tra due poligoni adiacenti è equidistante dai punti interni ai due poligoni.

## Data analysis: raster modeling (GRID)

- Operatori aritmetici, booleani, ecc.
- Funzioni di riclassificazione
- Funzioni zonali
- Funzioni locali
- Funzioni di modellazione di superfici
- Funzioni di analisi di forme

Una Griglia (GRID) è organizzata in celle quadrate, dove ciascuna cella contiene un valore. Tale valore può appartenere ad uno dei seguenti tipi:  
\_ rapporti: misure che rappresentano quantità in termini di posizione relativa rispetto ad un punto origine su di una scala calibrata e lineare. Età, frequenza e lunghezza sono esempi di questa

tipologia.

\_ intervalli: misure che sono significative solo se "lette" in riferimento ad un altro punto (non fissato a priori) su di una scala calibrata e lineare, definendo quindi delle posizioni relative (in opposizione ad assolute) nello spazio o nel tempo. Intervalli di tempo e distanze sono esempi di questa tipologia.

\_ ordinali: misure che definiscono un ordine, ma non una grandezza: rappresentano una quantità solo in termini di posizione lungo una scala lineare non calibrata. Primo, secondo, terzo, ecc.

\_ nominali: valori che rappresentano qualità, piuttosto che quantità, e quindi non fanno riferimento ad alcuna scala lineare. Tali valori, anche se numerici, vengono usati solo per distinguere una osservazione da un'altra. Numeri telefonici e codici di uso del suolo nella legenda "Corine Land Cover" sono esempi di questa tipologia.

Si possono effettuare delle operazioni che calcolino il valore da inserire in una cella di una griglia destinazione sulla base del valore presente nella omologa cella di una griglia (o di un insieme di griglie) sorgente, oppure sulla base dei valori presenti in un insieme di celle contigue a quella omologa, o sulla base dei valori di un insieme prefissato di celle.

Tali operazioni consentono di realizzare modelli di analisi anche molto sofisticati e complessi.

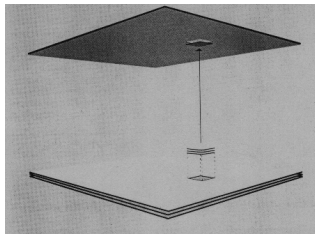
Le principali classi di funzioni che operano sulle griglie sono:

Funzioni locali

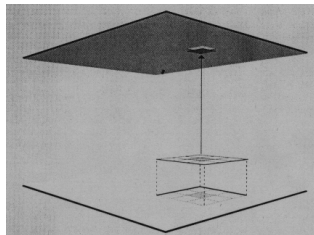
Funzioni focali

Funzioni zonali

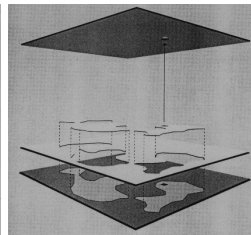
## Funzioni matriciali



Funzioni locali



Funzioni focali



Funzioni zonali

Nel modello raster, possiamo immaginare di sovrapporre al suolo una griglia, e di attribuire a ciascuna cella di questa griglia i valori assunti da una grandezza fisica (rapporti o intervalli), ovvero valori ordinali o nominali (che stabiliscono un ordine, o descrivono una classificazione) che rappresentano una informazione relativa a quella porzione di territorio. Ogni

griglia rappresenta uno strato tematico particolare, a seconda delle informazioni contenute nelle sue celle: valori di quota (sul livello del mare), temperatura ad una certa ora del giorno, numero di alberi presenti nella cella, codice di uso del suolo, ecc.

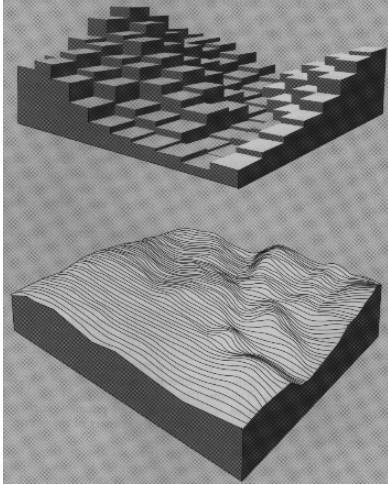
**Funzioni locali** - Il primo gruppo di operazioni finalizzate alla analisi dei dati comprende quelle che calcolano il nuovo valore per ciascuna cella su uno strato tematico come funzione del valore associato a quella posizione in un'altra griglia (o in altre griglie). Queste funzioni sono dette "locali" (e si distinguono in quelle che sono funzione di un solo strato e quelle che sono funzione di più strati tematici). Date due ortoregistrazioni della stessa area, possiamo confrontare un pixel di una immagine con quello dell'altra immagine, ed attribuire al corrispondente pixel della griglia che si crea un valore indicativo della differenza tra i due valori di origine (tale strato informativo può essere, opportunamente filtrato, uno strumento per l'individuazione delle aree in cui si è avuta una variazione di copertura del suolo).

**Funzioni focali** - Il secondo gruppo di operazioni finalizzate all'analisi dei dati comprende quelle che calcolano il nuovo valore per ciascuna cella di uno strato tematico come funzione del valore associato a quella posizione ed a quelle vicine in un'altra griglia. Dalla nome di "focus" della cella centrale rispetto ad un insieme di celle adiacenti nasce la denominazione di tali funzioni come "funzioni focali". Queste possono

limitarsi a considerare, per ciascun focus, l'insieme di 8 celle contigue, oppure considerare un numero maggiore di celle vicine. Ad esempio la funzione che calcola la pendenza massima in una cella di un Digital Elevation Model è una funzione focale, in quanto considera le quote di tutte le celle contigue a quella a cui poi attribuirà il valore di pendenza.

**Funzioni zonali** - Il terzo gruppo di operazioni è quello che include tutte quelle funzioni che calcolano il valore di una cella sulla base dei valori assunti da un insieme di celle di un altro strato tematico, laddove l'insieme di tali celle presenta forma e dimensione variabile. Tali zone sono definite mediante un ulteriore strato tematico, dove celle appartenenti ad una stessa zona presentano uguale valore. Dunque le funzioni zonali operano su di uno strato tematico contenente i valori e su di uno strato tematico che definisce una ripartizione del territorio in zone. Se le zone rappresentano delle aree omogenee di uso del suolo (boschi, urbanizzato, agricolo, ecc.) e il primo strato contiene, ad esempio, le quote, posso calcolare la quota media delle zone boscate.

# Digital Elevation Model



Nei DEM l'informazione contenuta in ciascuna cella è un numero reale (tipicamente la quota, da cui il nome di DEM, ma anche temperatura, quantità di un inquinante nell'aria, livello di rumore, ecc.)

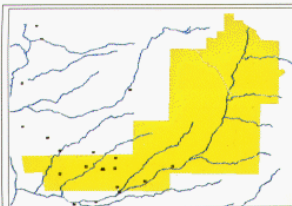


Figure 25. Prescott National Forest, AZ, before mine development.

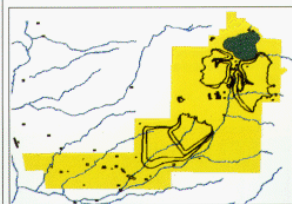
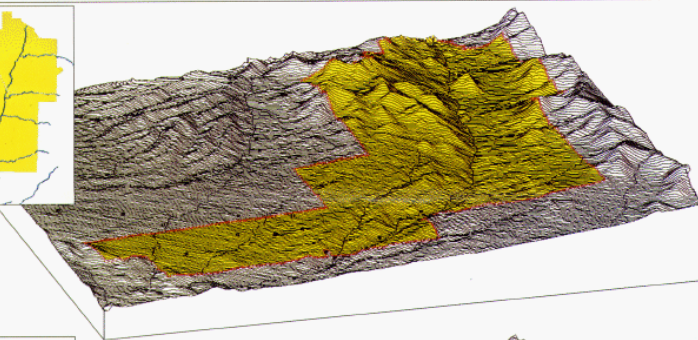


Figure 26. Prescott National Forest, showing proposed mine plan.

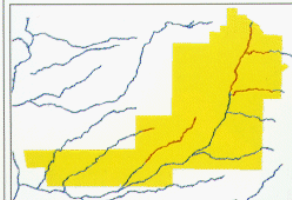
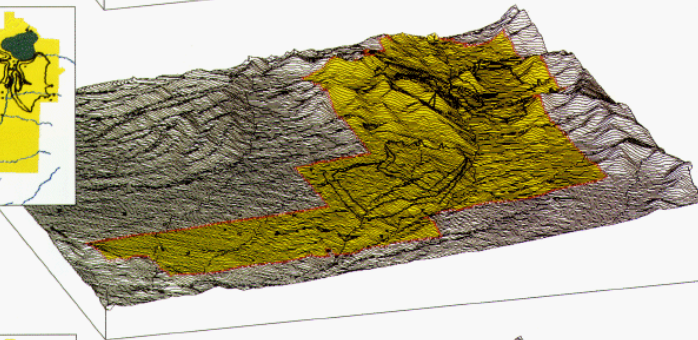
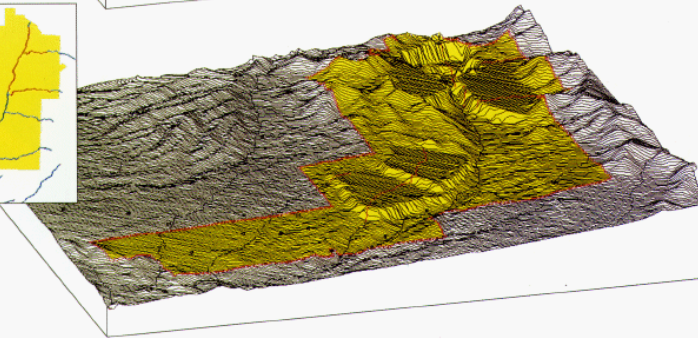
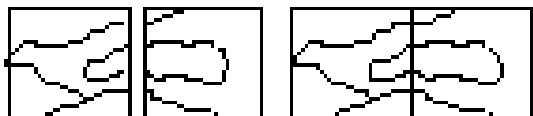


Figure 27. Prescott National Forest, showing altered topography due to mine development.



## Data analysis: coverage processing tools



- Edgematching
- Mapjoin
- Split
- Sliver removal

EDGEMATCHING - L'operazione di edgematching è effettuata per compensare le coordinate dei bordi di due coperture che saranno poi messe insieme. Il processo di edgematching assicura che gli archi ed i contorni dei poligoni si colleghino perfettamente in corrispondenza dei bordi dei fogli e che gli angoli delle carte coincidano. Un oggetto

geometrico chiamato LINK connette un punto in una copertura al punto che gli corrisponde nella copertura adiacente. Un'operazione di deformazione elastica (rubber-sheeting) connette i punti corrispondenti ai due estremi di ciascun link, realizzando così una perfetta sovrapposizione dei bordi dei fogli e garantendo il corretto aggancio di un arco con quello del foglio adiacente che ne rappresenta la continuazione.

MAPJOIN - L'operazione di mapjoin consente di assemblare in un'unica copertura fino a 500 coperture adiacenti. L'operazione di mapjoin crea una nuova copertura contenente tutti gli oggetti geografici, ed i loro attributi, provenienti dalle coperture di partenza.

SPLIT - L'operazione di split consente di dividere una copertura in più coperture distinte, ritagliandole in corrispondenza dei poligoni di una copertura che definisce le estensioni da utilizzare.

SLIVER REMOVAL - L'operazione di sliver removal (eliminazione dei poligoni fantasma) consente di eliminare quei poligoni di area relativamente molto piccola che si sono creati a seguito di problemi di digitalizzazione, o unendo archi provenienti da coperture distinte, in cui due archi dovrebbero in teoria coincidere, ma in pratica si intersecano in diversi punti, senza sovrapporsi perfettamente, originando così una serie di piccole aree non volute.

Queste, e molte altre non citate, sono operazioni che consentono di "correggere" o di "organizzare" i dati acquisiti, mettendo a disposizione tutta una serie di funzionalità diagnostiche che consentono di individuare situazioni "errate" e di correggerle.

## Data analysis: coordinate management

- Proiezioni
- Aggiustamenti a seguito di cambiamento di DATUM
- Trasformazioni
- Deformazioni elastiche
- Controllo della densità di punti

Projections - Trasformazione da coordinate geografiche a coordinate piane e viceversa, o tra differenti sistemi di coordinate piane)  
Datum adjustments - Correzioni (corrispondenti a deformazioni elastiche) a seguito di variazione del DATUM adottato (le funzioni presenti in ARC/INFO sono quelle utili per i sistemi

cartografici adottati in America Settentrionale)

Transformations - Trasformazione da coordinate digitizer a coordinate terreno, mediante l'attribuzione ai TICS acquisiti delle relative coordinate terreno. Trasformazioni affini tra sistemi di coordinate piane.

Rubber sheeting - Deformazioni elastiche controllate mediante l'acquisizione di una serie di LINK che definiscono origine e destinazione di una serie di punti, in modo da poter compensare eventuali distorsioni introdotte nella fase di acquisizione dati.

Coordinate density control - Controllo della distanza minima che deve esistere tra vertici successivi in un arco (per evitare di acquisire un numero eccessivo di vertici non significativi per la corretta definizione di un arco).

## Data analysis: buffering and aggregation



Le operazioni di buffering generano un poligono (ad una distanza prefissata) intorno ad un punto, ad una linea o ad un altro poligono.

BUFFER - Il comando Buffer consente di creare zone intorno a punti, linee poligoni ad una distanza fissa o sulla base di un item associato agli oggetti intorno a cui si vuole generare il buffer.  
UNION - Il comando Union opera una sovrapposizione (overlay) di due coperture di poligoni, e genera una nuova copertura contenente tutte le aree di entrambe

le coperture di partenza.



IDENTITY - Opera una sovrapposizione di punti, linee o poligoni con una copertura di poligoni, generando una nuova copertura di punti, linee o poligoni, a cui vengono associati anche gli attributi dei poligoni in cui ricadono.

INTERSECT - Opera come il comando IDENTITY, ma i punti, le porzioni di linee o di poligoni esterni ai poligoni della seconda copertura vengono eliminati.

THIESEN - A partire da una copertura di punti genera una copertura di poligoni tale che a ciascun punto di partenza corrisponda un poligono; ciascun poligono risulta essere il luogo dei punti più vicini al punto di partenza.

NEAR - Data una copertura di punti o di linee, individua per ciascun entità quale è il punto più vicino, tra quelli contenuti in una seconda copertura di punti.

POINTDIST - Date due coperture di punti, calcola e memorizza la distanza di ciascun punto della prima copertura da ciascun punto della seconda copertura entro una distanza massima prefissata.

DISSOLVE - Data una copertura di poligoni, accorpa tutti quelli adiacenti che presentano uguale valore per un item definito.

## Custom application building



ARC/INFO mette a disposizione il linguaggio di programmazione AML per costruire nuove funzioni, nuove applicazioni, estensioni e personalizzazioni.

Il linguaggio AML mette a disposizione tutti i costrutti tipici di un linguaggio di quarta generazione per costruire efficacemente procedure e funzioni necessarie per lo sviluppo di nuove applicazioni. Esistono potenti meccanismi di controllo e di descrizione delle coperture, delle variabili di ambiente e quanto altro necessario per poter

condizionare l'esecuzione delle procedure.

Con il meccanismo dei FORM è possibile costruire menù e facilitare al massimo l'interazione con l'applicazione. Nel caso di PC-ARC/INFO, esiste un linguaggio analogo all'AML, chiamato SML.

# Cartographic production



ARC/INFO rende disponibili numerose funzionalità per la produzione di sofisticati elaborati grafici. E' possibile generare file in formato Postscript o Adobe Illustrator per una successiva elaborazione con pacchetti di grafica.

ARC/INFO mette a disposizione diverse librerie grafiche contenenti campiture, colori, linee, simboli, font di caratteri: insomma tutto quanto occorre per poter scegliere con notevole libertà la vestizione da adottare per i diversi elementi geometrici, nella preparazione di plottaggi. Esiste anche la possibilità di inserire (disegnandoli, o

importandoli da file) altri simboli ed altre vestizioni: in tal modo è possibile personalizzare la simbologia con cui si vogliono rappresentare le entità geometriche, e generare prodotti grafici anche molto sofisticati. Merita evidenziare che tipicamente la vestizione da attribuire ad un'entità geometrica nel plottaggio sarà "decisa" sulla base del valore assunto dai suoi attributi (uno o più d'uno).

Ad esempio, in un plottaggio relativo alla densità di popolazione dei comuni al censimento '91, rappresenterò con colori diversi i poligoni relativi a comuni il cui attributo "Densità di popolazione" ricada in classi diverse.

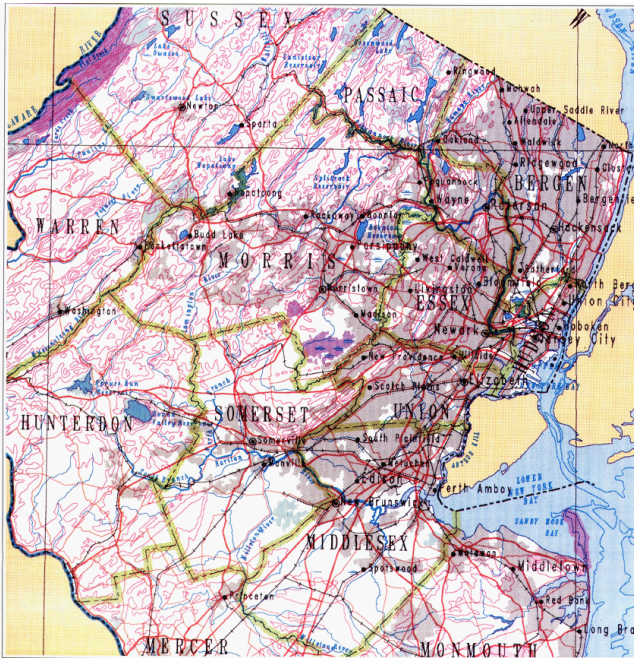


Figure 20. An example of a finished map that can be generated using a GIS.

## La famiglia ESRI

La famiglia di sistemi software sviluppati dalla Esri comprende:

- software per la creazione e la strutturazione delle basi di dati geografiche (ARC/INFO, ARCCAD)
- strumenti per l'analisi e l'interrogazione di basi di dati geografiche (ARCVIEW, ARC-EXPLORER, applicativi sviluppati dall'utente utilizzando le librerie MAP-OBJECT)

- strumenti per la gestione delle basi di dati (ARCSTORM, SDE)

I più diffusi sono ARCVIEW, ARCINFO ed ARCCAD (che fornisce le stesse funzionalità di base di ARCINFO, configurandosi come ADD-ON di Autocad).

## ARCINFO

ARC/INFO è un software GIS, che contiene centinaia di funzioni per l'elaborazione di informazioni geografiche, comprendenti funzionalità per:

Data entry and editing – Acquisizione dati da digitalizzazione, scansione (e successiva vettorializzazione).

Editing sia dei dati geometrici che degli attributi.

Data conversion and integration – Conversione di numerosi formati standard (Vector, Raster, CAD e immagini). Accesso, editing, e completo supporto SQL di dati gestiti da DBMS commerciali.

Base GIS functionality – Consente di effettuare proiezioni e trasformazioni, gestione e modifica dei dati, visualizzazione di immagini e gestione di dati tabellari.

Complete data query and display tools – Supporto per complesse analisi spaziali e degli attributi, e per la costruzione di sofisticate visualizzazioni grafiche.

Advanced spatial analysis – Overlay spaziale di punti, linee e poligoni; elaborazione ed analisi di dati raster; analisi di reti e modellazione lineare.

Geographic data management – Efficiente gestione di enormi basi di dati distribuite e multi-utenti.

System development and customization – Consente, tramite il linguaggio AML e l'utilizzo di menù, di costruire applicazioni molto complesse.

Data output – Produzione di dati geografici digitali, di reports tabellari e creazione di plottaggi molto sofisticati.

Esistono prodotti che estendono le funzionalità di base di ARC/INFO, come ad esempio:

NETWORK – Per la modellazione e l'analisi di reti.

TIN – Per la modellazione di superfici. Comprende funzioni per il calcolo di pendenza, esposizione, volume, per la generazione di profili, viste prospettiche, modelli "shaded relief".

GRID – Per la gestione e l'analisi di dati raster.

ArcScan – Pre-elaborazione di immagini raster e conversione raster-vector (vettorializzazione).

## ARCVIEW

ARCVIEW è un potente strumento per Personal Computer (Desktop Tool) che fornisce funzionalità per visualizzare, esplorare, interrogare ed analizzare dati geografici.

Trattandosi di uno strumento a basso costo, è corretto ipotizzare la attivazione di un sistema basato su alcune postazioni dotate di ARC/INFO per la creazione e la strutturazione dei dati geografici, insieme a diverse postazioni, dotate di ARCVIEW, destinate all'interrogazione dei dati ed alla produzione di elaborati grafici. Oltre a consentire la visualizzazione e l'interrogazione delle coperture di ARC/INFO, ARCVIEW è in grado di creare "temi" di Shape-file (entità geometriche: punti, linee o poligoni) non dotati di topologia, a cui è possibile agganciare attributi. Tali Shape-file sono creati tramite digitalizzazione a video, magari operando su una immagine raster in sottofondo. Con un minimo di personalizzazione realizzata tramite il linguaggio AVENUE, è possibile creare applicazioni specializzate basate sul "motore" ARCVIEW.

Tramite il meccanismo delle IAC (Inter Application Communication) ARCVIEW può attivare applicazioni su una stazione ARC/INFO, chiedendo lo svolgimento di funzioni che non sono alla sua portata, e realizzando dunque un sistema integrato di analisi spaziale, dove alcune operazioni vengono svolte localmente, ed altre demandate ad ARC/INFO.

Tramite l'espansione Internet Map Server è possibile pubblicare su INTERNET/INTRANET le viste (insiemi di temi, opportunamente "vestiti", eventualmente sulla base di classificazioni di un attributo alfanumerico collegato alle entità geografiche), in modo da consentire, con un semplice WEB BROWSER (Netscape, Internet Explorer), un limitato insieme di operazioni (zoom, pan, interrogazione degli attributi collegati alle entità geografiche, ecc.) sugli archivi geografici visualizzati.