

# S.I.T.

## Sommario

Appunti per l'esame di Sistemi Informativi Territoriali.

## Indice

<b>I</b>	<b>Sistemi Informativi Territoriali e GIS</b>	<b>4</b>
1	Punto di vista Spaziale e Geografico	4
2	Informazioni legate agli oggetti	4
3	Layers	4
4	Georeferenziazione: diretta ed indiretta	4
5	Cartografia Numerica	5
6	Ciclo di vita dei dati	5
7	Sistema GIS	6
8	Tecnologia GIS	6
9	Primitive geometriche vettoriali	6
10	Tipi di attributo	7
11	Geometria imperfetta	7
12	Primitiva Arco	7
13	Aree codificate con Archi	8
14	Geometria perfetta	9
15	Linee codificate con Archi	9

16 Topologia	10
17 Scambio di dati tra tecnologie GIS	10
18 Regola di Eulero	10
19 Modello Raster	10
20 Posizione dei pixel	11
21 Passaggio da Raster a Vector	11
22 Tipi di immagine raster	11
23 Modello di elevazione	12
24 Dati derivabili da un DEM	12
25 Map-Algebra	13
26 Incrocio	14
27 Incrocio vettoriale tra Aree	14
28 Incrocio Aree con Linee	15
29 Incrocio Aree con Punti	15
30 Incrocio Linee con Linee	15
31 Area di Rispetto	15
 II Cartografia	 17
32 Geodesia	17
33 Superficie topografica, geoidica ed ellissoidica	17
34 Geoide	17
35 Ellissoide	17
36 Orientamento dell'ellissoide	18
37 Sistema di Riferimento Nazionale	19
38 Sistema di Riferimento Europeo	19

39 Sistema di Riferimento Planetario	19
40 Datum	19
41 Topografia	19
42 GPS	20
43 GDOP	20
44 GPS Differenziale	21
45 Fotogrammetria	21
46 Orientamento	22
47 Classificazione delle rappresentazioni cartografiche secondo la scala	22
48 Proiezioni e tipo di deformazione indotta	23
49 Proiezione di Mercatore	23
50 Proiezione di Gauss-Krüger	24
51 Indicatore di Tissot	24
52 Coordinate Gauss-Boaga	24
53 Coordinate UTM-ED50	24
54 Coordinate UTM-WGS84	25
55 Coordinate Catastali (Cassini-Soldner)	25
56 Cambio di Sistema di Riferimento	25
57 Produttori di cartografia in Italia	25
58 Parametri metrici di una carta	26
59 Scale adeguate per i diversi tipi di utilizzo	26
60 Carte simboliche e carte tecniche	26
61 Lettura delle carte I.G.M.I. 1:25000	27
62 Lettura delle C.T.R. 1:10.000	27

## Parte I

# Sistemi Informativi Territoriali e GIS

## 1 Punto di vista Spaziale e Geografico

Punto di vista **Spaziale**:

permette di tener conto di relazioni spaziali come *essere vicino*, *essere dentro*, ecc.

Punto di vista **Geografico**:

visione di un insieme di oggetti diversi su una carta.

In un approccio geografico si considera l'oggetto in quanto tale, mentre in un approccio spaziale si descrive l'oggetto in relazione ad altri oggetti.

## 2 Informazioni legate agli oggetti

Gli oggetti contengono due tipi di informazione:

- Informazione **Geografica**: consiste nella posizione sul territorio e si rappresenta attraverso la cartografia. Gli operatori utilizzati su questo tipo di informazione sono di tipo geometrico, topologico e geografico (vicinanza, adiacenza, ecc.).
- Informazione **Descrittiva (Attributi)**: definisce la tipologia dell'oggetto e si rappresenta tramite una tabella che contiene i valori dei vari attributi. In questo caso si possono usare operatori statistici, aritmetici, ecc.

## 3 Layers

Gli oggetti sono logicamente raggruppati in layer, o classi, che contengono dati omogenei. Ciascun layer è caratterizzato da una rappresentazione geometrica e da una serie di attributi ben definiti. Benché ciascun layer abbia una serie di attributi specifica, la descrizione geografica di ogni layer sarà simile, poiché basata su coordinate geografiche.

## 4 Georeferenziazione: diretta ed indiretta

Georeferenziazione **Diretta**:

consiste nell'indicare la posizione di un punto sul territorio attraverso **coordinate geografiche**.

Georeferenziazione **Indiretta**:

consiste nell'indicare la posizione di un punto sul territorio attraverso un sistema di riferimento indiretto, come nel caso della coppia (*via, numero civico*)<sup>1</sup>. Questo tipo di georeferenziazione è espressa tramite attributi. Per poter effettuare operazioni geometriche in presenza di georeferenziazione indiretta è necessario trasformarla in georeferenziazione diretta attraverso tabelle di conversione dette **geovocabolari**.

## 5 Cartografia Numerica

Si parla di Cartografia Numerica quando si utilizzano strumenti informatici per il trattamento di dati geografici, ed in particolare per automatizzare il processo di disegno, lasciando all'operatore il compito di elaborare l'informazione.

La tecnologia GIS supera nettamente cartografia disegnata e cartografia numerica per la quantità di informazioni che può essere gestita:

	<i>Cart. Disegnata</i>	<i>Cart. Numerica</i>	<i>GIS</i>
<i>Num. Layer</i>	limitato (5-10)	illimitato	illimitato
<i>Num. Attributi</i>	minimo (1-3)	illimitato	illimitato

## 6 Ciclo di vita dei dati

Il dato “nasce” con una fase di **acquisizione** in cui viene raccolto e validato. Prosegue poi in una fase **gestionale** in cui viene utilizzato. Infine il dato è **archiviato** per poi subire una fase di **maturazione**.

Riassumendo:

1. Acquisizione (raccolta/validazione)
2. Gestione (utilizzo)
3. Archiviazione
4. Maturazione

---

<sup>1</sup>Abbreviata anche in VNC.

## 7 Sistema GIS

E' composto da 4 parti:

1. Dati: i dati su cui operare
2. Persone: urbanisti, geologi, ecc. Esperti in gestione del territorio.
3. Strumenti: elaboratore dotato di software specifico.
4. Contesto Organizzativo: struttura all'interno della quale si opera e si prendono le decisioni.

Un **Sistema Informativo Territoriale** è quindi definibile come:

l'insieme di dati, competenze professionali, procedure e strumentazione informatica, inquadrato in un contesto organizzativo il cui scopo è la gestione dei fenomeni che descrivono il territorio

## 8 Tecnologia GIS

La tecnologia GIS viene usata per:

- **Restituzione grafica** delle informazioni nel database.
- **Cartografia Tematica**, ovvero identificazione di un tema/attributo che viene rappresentato su base cartografica (risultati elettorali, distribuzione di popolazione, ecc.). In questo caso si usa l'informazione presente in un attributo, sfruttandone principalmente l'aspetto quantitativo.
- **Integrazione d'informazione** proveniente da fonti informative diverse.

## 9 Primitive geometriche vettoriali

Il GIS mette a disposizione una serie di primitive per modellare la geometria degli oggetti del mondo reale. La rappresentazione data è di tipo matematico.

- **Punto**: è una coppia di coordinate (x, y).  
I punti possono modellare oggetti che sono veri e propri punti (ad esempio un punto quotato) o anche oggetti con struttura areale modellati come punti per motivi di scala o perché la loro forma risulta irrilevante ai fini del modello (es. pozzi, o città nel caso in cui si voglia calcolare un itinerario).

- **Linea:** è un insieme ordinato di punti, di cui si specifica un punto iniziale ed uno finale.  
Una linea curva è spesso modellata come una linea spezzata, introducendo quindi un errore.  
Poiché l'intera linea è una primitiva, i valori associati agli attributi sono comuni ad ogni punto appartenente alla linea.
- **Area:** è una porzione di piano compresa all'interno di una linea chiusa (in cui gli estremi coincidono).  
Come per la linea, modellando un'entità reale attraverso un'area si introducono degli errori.  
Anche in questo caso i valori degli attributi sono da considerarsi validi per tutta la superficie dell'area.

## 10 Tipi di attributo

Gli attributi si distinguono in base a come si comportano quando la primitiva a cui appartengono viene separata in due parti.

Distinguiamo tre tipi di attributo:

- **Qualitativo:** spezzando la primitiva l'attributo **mantiene** la sua coerenza (es. tipo di suolo).
- **Quantitativo:** spezzando la primitiva l'attributo **perde** la sua coerenza (es. numero di abitanti in un'area).
- **Specifici:** spezzando la primitiva si mantiene una certa coerenza ma **si perde validità** (es. densità).

## 11 Geometria imperfetta

Due oggetti adiacenti nella realtà possono non esserlo quando sono modellati come aree. Questo può essere causato dall'imprecisione con cui vengono acquisiti i dati dei vertici. L'errore generato può essere irrilevante in fase di disegno, ma non può essere tollerato a livello informatico perché può provocare risultati contraddittori.

## 12 Primitiva Arco

E' una Linea<sup>2</sup> che divide due aree, dotata di un **verso** ed ha associati due attributi che descrivono **area-destra** ed **area-sinistra**.

Utilizzando più archi per definire un'area non si presenta più il problema di incongruenze sui bordi, poiché un'unica linea forma il perimetro di due

---

<sup>2</sup>Un arco può essere formato da più segmenti.

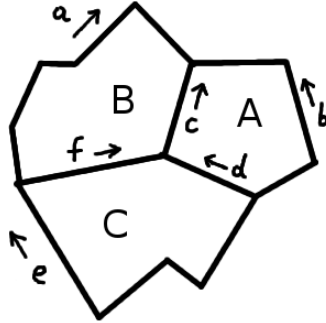


Figura 1: Aree codificate con archi

distinte aree contigue.

### 13 Aree codificate con Archi

Per poter codificare un'area attraverso archi è necessario che quest'ultimi siano orientati, utilizzando inoltre la convenzione, del tutto arbitraria, che ogni arco ha come attributo destro l'area interna (percorrendo l'arco nel suo verso, l'area si trova sulla destra).

Data una mappa è quindi possibile costruire una **tabella degli archi** in cui è associato ad ogni arco il codice delle aree che si trovano alla sua destra ed alla sua sinistra.

La tabella degli archi corrispondente alla Figura 1 è la seguente:

<i>Arco</i>	<i>Sx</i>	<i>Dx</i>
a	-	B
b	A	-
c	B	A
d	C	A
e	-	C
f	B	C

Dalla tabella degli archi è possibile ricavare la **tabella delle aree**<sup>3</sup>:

<i>Area</i>	<i>Composizione Archi</i>
A	-b c d
B	a -c -f
C	-d e f

Utilizzando le tabelle è possibile eseguire operazioni come:

<sup>3</sup>Il segno meno indica che l'arco deve essere percorso in senso opposto al suo verso.



- **Contiguità:** due aree sono contigue se esiste almeno un arco che ha **entrambe** le aree come attributi.
- **Unione:** l'unione di due aree è formata solo dagli archi che hanno **una ed una sola** delle due aree negli attributi.

## 14 Geometria perfetta

Utilizzando gli archi si risolve il problema del bordo unico fra due aree. Rimane però il problema di connettere perfettamente gli archi tra loro. Quella di ottenere una geometria perfetta è un'operazione geometrica svolta dal software, che si occupa di:

- Acquisire linee/archi una volta sola.
- Far convergere più archi in uno stesso nodo.

## 15 Linee codificate con Archi

In maniera simile a quanto avviene per le aree, le linee possono essere codificate tramite archi. Una volta ottenuti dati geometricamente perfetti è

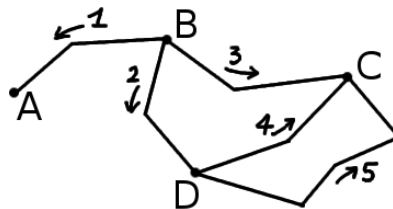


Figura 2: Linee codificate con archi

possibile costruire tabelle che esprimano le relazioni topologiche tra archi e nodi. Anche in questo caso gli archi devono essere orientati, in modo da poter memorizzare per ogni nodo i suoi archi entranti ed uscenti.

La seguente tabella è riferita alla struttura descritta nella Figura 2.

<i>Nodo</i>	<i>Archi usc.</i>	<i>Archi ent.</i>
A	-	1
B	1,2,3	-
C	-	3,4,5
D	4,5	2

Sfruttando la tabella è possibile eseguire una serie di operazioni senza dover usare la parte geografica dei dati.

## 16 Topologia

La topologia studia relazioni spaziali tra oggetti geometrici.

Nella tecnologia GIS si esplicitano relazioni spaziali tra primitive geometriche.

Se i dati sono geometricamente perfetti è possibile costruirvi sopra una **sovrastuttura topologica**<sup>4</sup> che garantisce:

- Coerenza dei dati.
- Maggiore efficienza nelle elaborazioni.

## 17 Scambio di dati tra tecnologie GIS

Per il passaggio di dati tra sistemi diversi, la topologia deve essere “smontata” per poi essere ricostruita dal sistema destinatario dei dati.

Questo dipende dal fatto che i software GIS implementano le relazioni tra archi, nodi ed aree in modo diverso tra loro.

## 18 Regola di Eulero

E’ una regola molto generale che mette in relazione il numero di archi, nodi ed aree di un grafo.

$$\#archi - \#nodi = \#aree - 1$$

La seguente forma è più generale, e tollera il caso in cui il grafo non sia connesso:

$$\#archi - \#nodi = \#Aree - \#InsiemiConnessi$$

## 19 Modello Raster

Definizione di **Campo**:

grandezza che si estende per tutto lo spazio e che viene misurata in un insieme finito di punti (es. quota, temperatura, ecc.).

Queste grandezze sono misurate con **punti-misura** che possono essere distribuiti più o meno regolarmente nello spazio.

Quando tali punti sono distribuiti in modo regolare, allora si parla di **Pixel**. Ogni pixel ha un valore e la dimensione del pixel è costante.

---

<sup>4</sup>La topologia costruita dipende dal modello che si vuole studiare e dal software GIS utilizzato.

E' importante sottolineare che **il pixel non è un oggetto**, a differenza di punti, linee ed aree, bensì il luogo dove una grandezza assume un certo valore.

Sui concetti appena descritti si basa il **Modello Raster**, in cui lo spazio è diviso in celle quadrate (pixel).

## 20 Posizione dei pixel

Poiché l'immagine deve essere messa in relazione allo spazio geografico, ciascun pixel deve essere dotato di coordinate che ne esprimano la posizione. Consideriamo lo spazio del modello raster come una matrice in cui ogni elemento (pixel) abbia un proprio indice di riga  $i_r$  ed un indice di colonna  $i_c$ . Supponiamo di "appoggiare" la matrice su un piano cartesiano che rappresenta lo spazio geografico.

Conoscendo le coordinate  $(X_0, Y_0)$  del pixel in alto a sinistra della matrice, e la dimensione dei pixel, indicata con  $d$ , possiamo ricavare le **coordinate di un generico pixel**:

$$\begin{aligned} X &= (X_0 + (i_c - 1) * d) \\ Y &= (Y_0 + (i_r - 1) * d) \end{aligned}$$

## 21 Passaggio da Raster a Vector

Data una matrice che rappresenta una zona attraverso il modello raster, è possibile trasformarla in un modello vector attraverso le seguenti fasi:

- **Classificazione:** si assegna ad ogni insieme di valori un **simbolo**, trasformando così misure fisiche in simboli arbitrariamente scelti.
- **Accorpamento:** si definiscono insiemi di pixel che si differenziano tra loro in base al simbolo loro associato.
- **Vettorizzazione:** si elimina la quadrettatura dei pixel, rimuovendo i vertici superflui.

## 22 Tipi di immagine raster

Esistono vari tipi di immagine raster, con contenuti informativi diversi.

### Immagine Fisica

Ogni pixel indica una misura effettuata sul territorio relativa ad una grandezza continua. Per questo l'immagine fisica è **interpolabile**.

Può essere georeferenziata.

### **Immagine Classificata**

Ad ogni pixel è associato un valore simbolico, il cui significato è da ricercare in una apposita legenda. L'immagine è discontinua e quindi **non interpolabile**.

Può essere georeferenziata.

### **Immagine Cartografica**

Documento raster ottenuto scansionando una carta. Solitamente si opera su carte in bianco/nero, ottenendo un raster binario con valori  $[0,1]$ . L'immagine è dunque **non interpolabile**.

Può essere georeferenziata.

### **Immagine Fotografica**

Sono le comuni fotografie che documentano oggetti di particolare interesse. Sono georeferenziate in maniera diversa dalle altre, infatti tutta l'immagine è associata all'oggetto come attributo.

## **23 Modello di elevazione**

In forma vettoriale la descrizione della forma del terreno (morfologia) è stata affrontata attraverso:

- Curve isovalore.
- Punti quotati.
- Aree isovalore.

Per descrivere la morfologia del terreno può essere però utilizzato anche un layer raster.

una matrice che esprime l'altitudine del terreno è detta **DEM** (Digital Elevation Model), e si può distinguere tra:

- **DTM** (Digital Terrain Model) se consideriamo solo la superficie naturale del terreno.
- **DSM** (Digital Surface Model) se consideriamo anche i manufatti dell'uomo, gli alberi, ecc.

## **24 Dati derivabili da un DEM**

Da una matrice delle quote sono ricavabili due matrici tipiche:

- Matrice delle Pendenze.
- Matrice di Esposizione.

La **pendenza** di un pixel si ottiene analizzando la quota del pixel in relazione ai pixel circostanti. La pendenza, calcolata come la differenza di quota massima in valore assoluto, è poi associata al pixel.

L'**esposizione** di un pixel è la direzione in cui si rileva la pendenza massima. Le direzioni possibili sono le 8 che indicano i pixel vicini tramite punti cardinali (Nord, NordEst, Est, ecc.) più un valore associato al caso in cui l'esposizione del pixel sia nulla.

### Esempio

Data la seguente Matrice delle Quote:

3	4	5	5
1	6	6	7
5	4	<b>5</b>	7
6	2	8	4
6	7	1	3

Per ottenere la pendenza associata al pixel evidenziato, calcoliamo la sottomatrice con le differenze di quota:

+1	+1	+2
-1	<b>5</b>	+2
-3	+3	-1

A questo punto possiamo calcolare la pendenza come la differenza di quota massima in valore assoluto<sup>5</sup>, ottenendo per il pixel:

- Pendenza: +3
- Esposizione: Sud

## 25 Map-Algebra

Si intende per Map-Algebra l'uso di operatori di tipo **logico** e **matematico** applicati a matrici che riportano dati territoriali con una serie di vincoli geometrici<sup>6</sup>.

Gli operatori applicabili in questo contesto sono classificati come:

- **Operatori locali:** il valore attribuito a ciascun pixel del layer risultato è ottenuto applicando una funzione ai due pixel corrispondenti nei layer di input.

---

<sup>5</sup>Per i pixel raggiungibili "in diagonale" è necessario considerare la forma quadrata del pixel e quindi dividere la differenza di quota per  $l\sqrt{2}$ , dove  $l$  indica il lato del pixel.

<sup>6</sup>Ad esempio, per operare su più matrici, queste devono modellizzare la stessa zona ed i pixel devono essere uguali per dimensione e posizione.

- **Operatori zonali:** il valore delle celle del layer risultato è funzione dei pixel dei layer di input raggruppati secondo zone, definite in uno dei layer in input.
- **Operatori focali:** il valore risultato è funzione dei valori degli elementi appartenenti ad un intorno dell'elemento considerato. Il risultato è calcolato a partire da più pixel, ma è attribuito ad un unico pixel nel layer risultato (per ogni pixel appartenente al layer risultato).
- **Operatori globali:** il risultato dipende, potenzialmente, da tutti i valori del layer in input (es. calcolo del percorso minimo).
- **Operatori di utilità:** non sono veri e propri operatori nella map-algebra, ma permettono di importare i dati, modificare la risoluzione dei pixel, applicare rotazioni, ecc.

## 26 Incrocio

In uno strumento GIS le relazioni spaziali tra oggetti sono memorizzate nella parte geometrica dell'oggetto. L'**incrocio** è un'operazione che permette di esplicitare alcuni tipi di relazioni spaziali, integrando le informazioni presenti in strati informativi differenti. Per far questo operazione di incrocio sfrutta sia la parte geometrica che gli attributi di ciascuno strato. Le relazioni esplicitate tramite l'incrocio possono collegare fenomeni espressi tramite primitive diverse, con i risultati descritti in tabella:

<i>Primitive di origine</i>	<i>Primitive risultato</i>
Aree con Aree	Aree
Aree con Linee	Aree o Linee
Aree con Punti	Aree o Punti
Linee con Linee	Punti
Linee con Punti	Non proponibile
Punti con Punti	Non proponibile

## 27 Incrocio vettoriale tra Aree

Il risultato di un'operazione di incrocio tra aree è un layer di aree. Distinguiamo diverse tipologie di incrocio tra aree:

- **Incrocio per unione** di due aree parzialmente sovrapposte: vengono restituite tutte le aree create, ciascuna con gli attributi delle aree di input. Avrò aree con più attributi (quelle che hanno una corrispondenza con entrambi i layer in input) ed aree con meno attributi (quelle non coperte da uno dei due layer in input).

- Incrocio **per intersezione**: vengono restituite solo le aree per le quali sia possibile ricavare tutti gli attributi dei layer in input.
- Incrocio **sotto condizione**: viene restituito l'insieme delle aree che contengono gli attributi di uno specifico strato.

Per il numero di aree e di attributi del layer di output valgono le seguenti formule:

$$N_{aree\ tot} \geq \max(N_{aree\ 1}, N_{aree\ 2})$$

$$N_{attrib\ tot} = N_{attrib\ 1} + N_{attrib\ 2}$$

## 28 Incrocio Aree con Linee

Distinguiamo tre casi:

- Il risultato è rappresentato da **linee spezzate** ai limiti delle aree.
- Il caso simmetrico, in cui il risultato è rappresentato dalle **aree spezzate** dalle linee.
- Si ottengono **aree qualificate** sulla base delle caratteristiche, o del numero, delle linee che le attraversano.

## 29 Incrocio Aree con Punti

In questo caso distinguiamo due possibilità, in base a quale sia l'obiettivo dell'operazione di incrocio:

- Se i **Punti** sono l'obiettivo, allora si qualificano i Punti in base alla loro appartenenza ad un'area.
- Se le **Aree** sono l'obiettivo, allora si qualificano le Aree in base al numero o le caratteristiche dei punti che contengono.

## 30 Incrocio Linee con Linee

Questo tipo di incrocio dà origine a **Punti** con attributi derivati da entrambe le linee.

## 31 Area di Rispetto

L'Area di Rispetto, o buffer, è, insieme all'Incrocio, una delle operazioni più comuni dei sistemi GIS. E' definita come un'area che si estende **intorno** ad

una primitiva geometrica in modo che tutti i punti del piano che siano ad una distanza inferiore ad un certo valore<sup>7</sup> giacciono nell'area.

---

<sup>7</sup>Il valore della distanza è un parametro dell'operazione e può essere o meno funzione di un attributo.



## Parte II

# Cartografia

### 32 Geodesia

Studio della forma e delle dimensioni della Terra.

Scelta di modelli semplificati della Terra.

Valutazione degli scarti esistenti tra la forma approssimata e quella reale della Terra.

La geodesia propone modelli semplificati per lo studio della Terra, come il **geoide** e l'**ellissoide**, si occupa poi di definire le dimensioni dell'ellissoide che meglio può approssimare quelle della Terra, e ne studia gli scostamenti rispetto al geoide, la cui forma è conoscibile attraverso misure gravimetriche.

### 33 Superficie topografica, geoidica ed ellissoidica

- La superficie **topografica** è quella che noi vediamo.
- La superficie **geoidica** è quella che “percepiamo” studiando l'attrazione gravitazionale.
- La superficie **ellissoidica** è un'astrazione matematica usata per sostituire la Terra con un modello che possa essere descritto analiticamente.

### 34 Geoide

Generalmente il **geoide** è definito come quella superficie equipotenziale (su cui è costante il valore del campo gravitazionale) coincidente con il pelo libero delle acque se i mari e gli oceani potessero passare attraverso le terre emerse, e la cui conformazione in ciascun punto sarebbe direttamente legata alla distribuzione di tutte le masse circostanti che originano l'attrazione gravitazionale.

Il geoide è acquisito tramite studi gravimetrici e consente di calcolare per ogni punto della superficie terrestre la differenza di quota (positiva o negativa) tra la superficie dell'ellissoide e quella che “percepiamo” attraverso le misurazioni della forza di gravità.

### 35 Ellissoide

L'**ellissoide** è una figura tridimensionale formata dalla rotazione di un'ellisse attorno al suo asse minore. Un ellissoide rappresenta un'astrazione

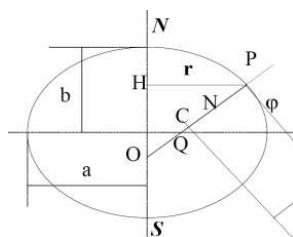


Figura 3: Ellissoide

matematica che modella analiticamente la forma della Terra.

Esistono vari ellissoidi utilizzati. In tabella sono riportati alcuni dei principali ellissoidi:

<i>Ellissoide</i>	<i>Semiasse maggiore</i>	<i>Schiacciamento <math>\alpha</math></i>
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
KRASOVSKY (1942)	6378245	1/298.3
FISCHER (1960)	6378160	1/298.3
WGS84 <sup>8</sup> (1987)	6378137	1/298.3

## 36 Orientamento dell'ellissoide

- **Orientamento forte:** l'ellissoide viene orientato in modo che in un determinato punto sia garantita la tangenza con il geoide e la coincidenza di verticale geoidica e verticale ellissoidica.

La cartografia prodotta proiettando sul piano la superficie ellissoidica risulterà particolarmente affidabile per il territorio circostante al punto di tangenza.

- **Orientamento debole, o medio:** l'ellissoide viene orientato in modo che vi sia uno scarto minimo tra le superfici e le verticali di geoide ed ellissoide. La cartografia prodotta in questo caso avrà una buona affidabilità per un territorio ampio intorno al punto di contatto tra le due superfici.
- **Orientamento geocentrico, o globale:** viene fatto coincidere il centro dell'ellissoide con il centro di massa del geoide. L'ellissoide

<sup>8</sup>Ellissoide usato nel Sistema di Riferimento Mondiale

geocentrico risulta il **miglior sistema di riferimento per l'intero pianeta**, benché la cartografia prodotta in questo caso non sarà ottimale.

## 37 Sistema di Riferimento Nazionale

Sistema di Riferimento Nazionale: **Roma 1940**

Ellissoide Internazionale di Hayford.

Orientamento **forte** in corrispondenza dell'**Osservatorio Astronomico di Roma Monte Mario**.

## 38 Sistema di Riferimento Europeo

Sistema di Riferimento Europeo: **ED50**

Ellissoide Internazionale di Hayford.

Orientamento **debole** in corrispondenza dell'**Osservatorio Astronomico di Potsdam** (Bonn).

## 39 Sistema di Riferimento Planetario

Sistema di Riferimento Mondiale: **WGS84**

Ellissoide WGS84.

**Geocentrico**.

## 40 Datum

Il Datum, o Sistema di Riferimento, è un modello semplificato della Terra, adeguato per le esigenze di produzione cartografica.

Un Datum si compone di un **ellissoide** (definito univocamente dai suoi semiassi maggiore e minore, o da uno di essi e dallo schiacciamento), dalla definizione dell'**orientamento dell'ellissoide rispetto alla Terra**, e da una **rete compensata di punti**, estesa sull'area di interesse, che lo materializza.

## 41 Topografia

Lo scopo della Topografia è la rilevazione delle coordinate di punti partendo da altri punti le cui coordinate siano già note. Per fare questo si ricorre alle formule rese note dalla geodesia, applicandole ai dati rilevati dall'IGMI, il Catasto, le regioni e gli altri enti che mantengono reti trigonometriche.

## 42 GPS

Il **GPS** (Global Positioning System) consente la localizzazione di entità sulla superficie terrestre, facendo riferimento alla posizione di satelliti intorno alla terra.

Il servizio nel suo complesso è implementato da tre componenti, dette *segmenti*:

- Segmento **Space**: 24 satelliti su 6 piani orbitali e con periodi di rivoluzione di 12 ore. La distribuzione dei satelliti è tale da garantire la visibilità di almeno 6 satelliti in qualsiasi momento e da ogni punto del pianeta.  
I satelliti inviano continuamente i loro dati di **tempo** e **posizione** attraverso due canali radio, consentendo a qualsiasi ricevitore di calcolarne le coordinate con esattezza.
- Segmento **Control**: stazioni di controllo<sup>9</sup> che verificano l'orbita dei satelliti. I parametri orbitali calcolati dalle stazioni vengono inviati ai satelliti che, a loro volta, li ritrasmettono in modo che i ricevitori possano calcolarne la posizione in funzione dell'ora.
- Segmento **User**: si identifica con il ricevitore GPS. Utilizzando i dati ricevuti dal satellite riesce a calcolarne esattamente la posizione in un sistema di riferimento cartesiano geocentrico e solidale con la Terra<sup>10</sup>. A questo punto, utilizzando un proprio orologio il ricevitore può valutare il ritardo e quindi la distanza dai satelliti, ricavandone la propria posizione. Per poter calcolare la propria posizione, ad un ricevitore occorrono almeno 4 satelliti "visibili"<sup>11</sup>.

## 43 GDOP

Due caratteristiche determinano imprecisione nel calcolo della posizione da parte di un ricevitore GPS:

- **Imprecisione dell'orologio** del ricevitore, che determina il fatto che le sfere calcolate intorno ai satelliti (si conosce la distanza) abbiano uno "spessore" e che quindi non si intersechino in un unico punto.

---

<sup>9</sup>Il centro di controllo che presiede al governo del sistema (Master Control Station) è presso la Falcon AFB, Colorado (USA) ed è gestito dallo USAF Space Command. Cinque stazioni di controllo (Monitor Station) sono posizionate in modo da garantire che ogni satellite sia visibile da almeno una di esse in ogni momento.

<sup>10</sup>Chiamato ECEF, Earth Centered, Earth Fixed.

<sup>11</sup>Il quarto satellite è necessario perché anziché 3 equazioni a 3 incognite, necessarie al solo calcolo della posizione, si utilizzano 4 equazioni introducendo una quarta incognita che rappresenta l'errore commesso dall'orologio del ricevitore. Questo accorgimento consente al ricevitore di usare un normale orologio al quarzo rispetto ai più precisi orologi atomici usati dai satelliti.

- **Posizione dei satelliti**, in particolare più i satelliti sono vicini alla verticale sul ricevitore e minore sarà la precisione. Questo è dovuto al fatto che le sfere, quasi tangenti individueranno un'area di intersezione maggiore.

Il **GDOP** (Geometric Dilution Of Precision) è una misura dell'imprecisione dei dati calcolati da un ricevitore GPS in base alla posizione dei satelliti visibili.

## 44 GPS Differenziale

Il GPS Differenziale (DGPS) rappresenta un incremento delle prestazioni del GPS, sviluppato in ambiti civili in risposta al *Selective Availability*<sup>12</sup>.

L'idea di fondo è che, avendo un GPS in una posizione di coordinate note, è possibile calcolare la correzione da applicare ai dati ricevuti per poter ottenere la posizione corretta, per poi comunicare via radio le correzioni ad un altro GPS, o meglio un DGPS, che a quel punto, applicandole, è in grado di calcolare la propria posizione con una precisione nell'ordine dei centimetri.

## 45 Fotogrammetria

La **fotogrammetria** si occupa della localizzazione di entità sulla superficie terrestre, facendo riferimento alla loro posizione rilevabile su immagini aerofotografiche.

La **fotogrammetria aerea** si propone di rendere disponibili immagini da cui sia possibile riconoscere e rilevare le posizioni delle diverse entità sul territorio. Tali immagini saranno poi "lette" mediante appositi strumenti chiamati **stereorestitutori**, che funzionano sfruttando la possibilità di avere una visione stereoscopica del territorio fotografato.

La fotogrammetria aerea funziona nel seguente modo:

Sulla base delle rotte definite nel piano di volo, il pilota scandisce il territorio secondo strisciate contigue. Ciascuna striscia è, in realtà, parzialmente sovrapposta a quelle adiacenti<sup>13</sup>. Così come anche le immagini scattate durante il volo presentano delle porzioni di sovrapposizione tra un fotogramma e l'altro<sup>14</sup>. Un fotogramma ed il successivo formano una **coppia stereoscopica** (*stereo pair*); una sequenza di fotogrammi, prima che l'aereo viri, formano una **striscia** (*strip*); più striscie adiacenti formano un **blocco** (*block*). Un blocco copre esaustivamente una porzione di territorio di cui si vuole produrre cartografia. La quota di volo dell'aereo e la lunghezza focale

<sup>12</sup>Misura di sicurezza introdotta dall'esercito statunitense per limitare la precisione del GPS, introducendo errori casuali nei dati trasmessi dai satelliti.

<sup>13</sup>Generalmente circa il 15%

<sup>14</sup>Generalmente circa il 60%

della macchina fotografica sono adottate in funzione della scala delle immagini che si vogliono ottenere, a sua volta funzione della scala della cartografia che se ne vuole derivare.

## 46 Orientamento

- **Orientamento Interno:** per ciascun fotogramma si definisce un sistema di riferimento cartesiano, con l'origine al centro della foto, a cui si può ricorrere per esprimere la posizione di particolari visibili nell'immagine.
- **Orientamento Relativo:** per ogni coppia stereoscopica si selezionano dei punti ben visibili in entrambe le immagini. A partire da questi punti è possibile risalire a delle equazioni che consentano di individuare, per tutti i punti le rispettive coordinate "lastra".
- **Orientamento Assoluto:** acquisendo le coordinate terreno di alcuni punti individuati sulle immagini è possibile convertire le coordinate "lastra" in coordinate terreno, ricavando l'orientamento assoluto del modello stereoscopico.

E' bene notare che, mentre i due sistemi cartesiani locali dei fotogrammi sono bidimensionali, il sistema di riferimento che otteniamo dopo l'orientamento relativo, ed a maggior ragione quello ottenuto dopo l'orientamento assoluto, sono **tridimensionali**. In pratica, dopo l'orientamento assoluto, siamo in grado di ricavare le 3 coordinate terreno di qualsiasi punto rilevabile sulle immagini.

## 47 Classificazione delle rappresentazioni cartografiche secondo la scala

- Planisferi
- Mappamondi
- Carte geografiche o generali (fino a 1:2.000.000)
- Carte corografiche (da 1:1.000.000 a 1:200.000)
- Carte topografiche (da 1:100.000 a 1:5.000)
- Mappe (da 1:5.000 a 1:1.000)
- Piante (da 1:500 a valori maggiori)
- Carte Tecniche Regionali (da 1:10.000 a 1:2.000)

## 48 Proiezioni e tipo di deformazione indotta

- **Proiezioni Conformi:** Una proiezione per la quale gli angoli sulla sfera vengono mappati in angoli uguali sul piano è chiamata **conforme**, o anche **ortomorfa**, **isagonica** o **autogonale**.  
Il termine conforme indica che la proiezione preserva le forme (che è conseguenza della conservazione degli angoli), ma implica l'impossibilità di garantire la conservazione delle aree.
- **Proiezioni Equivalenti:** Una proiezione per la quale un'area sulla sfera viene mappata in un'area uguale (fermo restando il rapporto di scala della carta) sul piano è chiamata **equivalente** o anche **autalica**. La condizione di equivalenza non può coesistere con quella di conformità.
- **Proiezioni Equidistanti:** Una proiezione per la quale sono preservate le distanze rispetto al punto centrale della proiezione (il punto in cui il piano su cui si ha la proiezione risulta tangente alla Terra), oppure lungo una particolare curva (tipicamente immagine di un meridiano o un parallelo) è detta **equidistante**.
- **Proiezioni Afilattiche:** Una proiezione che non è conforme né equivalente è chiamata **afilattica**, e presenta in maniera non trascurabile tutte le deformazioni.
- **Proiezioni Azimutali:** Una proiezione per la quale sono preservati gli angoli di direzione rispetto al punto centrale della proiezione (il punto in cui il piano su cui si ha la proiezione risulta tangente alla Terra).

	<i>Equivalente</i>	<i>Equidistante</i>	<i>Azimutale</i>	<i>Conforme</i>
<i>Equivalente</i>	-	NO	SI	NO
<i>Equidistante</i>	NO	-	SI	NO
<i>Azimutale</i>	SI	SI	-	SI
<i>Conforme</i>	NO	NO	SI	-

## 49 Proiezione di Mercatore

Proiezione **cilindrica conforme** molto usata nelle carte nautiche per la caratteristica che ogni linea che collega due punti forma con i meridiani un angolo coincidente con la direzione da seguire (sulla bussola) per raggiungere la destinazione.

La carta è conforme e quindi provoca significative deformazioni nelle aree più settentrionali.

## 50 Proiezione di Gauss-Krüger

Proiezione **conforme cilindrica inversa** proposta da Gauss e rivisitata nel 1912 da Krüger.

La stessa proiezione fu adottata in Italia dal Prof. Giovanni Boaga, da cui il nome delle **coordinate piane Gauss-Boaga**.

Fu adottata per la produzione di una cartografia avente caratteristiche di omogeneità da parte dei vari paesi europei dopo la seconda guerra mondiale, facendo riferimento al Datum ED50: la proiezione di Gauss venne allora ribattezzata **Universal Transverse Mercator** (UTM).

## 51 Indicatore di Tissot

Il matematico francese Nicola Augusto Tissot individuò un metodo per valutare le distorsioni: immaginò di disegnare dei cerchi sul globo, di uguali dimensioni, in diverse posizioni: analizzò poi la forma, la posizione reciproca e le dimensioni di ciascuna figura derivata dalla trasformazione dei cerchi originari.

## 52 Coordinate Gauss-Boaga

- Sistema di Riferimento Nazionale
  - ellissoide di Hayford orientato a Roma Monte Mario
  - compensazione della rete geodetica nazionale
- Proiezione di Gauss
  - due fusi (Est ed Ovest) di  $6^\circ$  e  $30'$  di sovrapposizione
  - coordinate piane di Gauss-Boaga con false origini di 2520 km (fuso E) e di 1500 Km (fuso O)

## 53 Coordinate UTM-ED50

- Sistema di Riferimento ED50
  - ellissoide di Hayford orientato a Potsdam (Germania)
  - compensazione delle reti geodetiche europee
- Proiezione di Gauss (chiamata UTM)
  - due fusi (32 e 33) di  $6^\circ$  e  $30'$  di sovrapposizione
  - coordinate piane UTM-ED50 con false origini di 500 km



## 54 Coordinate UTM-WGS84

- Sistema di Riferimento WGS84
  - ellissoide WGS84
  - Sistema GPS (controllato da terra)
- Proiezione di Gauss (chiamata UTM)
  - due fusi (32 e 33) di 6° e 30' di sovrapposizione
  - coordinate piane UTM-ED50 con false origini di 500 km

## 55 Coordinate Catastali (Cassini-Soldner)

- Sistemi di Riferimento Catastali
  - ellissoide di Bessel orientato a Genova Osservatorio Idrografico
  - 31 vertici trigonometrici con coordinate calcolate precedentemente alla compensazione del 1939
- Proiezione di Cassini-Soldner
  - coordinate geodetiche rettangolari riferite al centro di riferimento

## 56 Cambio di Sistema di Riferimento

Dovendo trasformare delle coordinate piane in un altro tipo, il passaggio è quello di operare prima una proiezione inversa per ricavare le coordinate geografiche, poi convertendo queste in geocentriche. Si opererà poi una trasformazione dal Datum di partenza a quello di arrivo (mediante traslazione, rotazione, scalatura). Le nuove geocentriche ottenute verranno trasformate in geografiche e poi tramite la nuova proiezione nelle coordinate piane desiderate

## 57 Produttori di cartografia in Italia

Gli Enti produttori ufficiali di cartografia sono:

- I.G.M.I. (scale 1:25000, 1:50000 e 1:100000);
- Catasto (scale 1:2000, talvolta 1:500 e 1:4000);
- Istituto Idrografico della Marina (rilevazione coste, profondità fondali, carte finalizzate alla navigazione).

Altri produttori di cartografia:

- Istituto Geografico De Agostini
- Touring Club Italiano
- Automobil Club Italiano
- Ditte produttrici per conto di:
  - FF.SS.
  - E.N.E.L.
  - Regioni, Province, Comuni, Comprensori di Bonifica, ecc.

## 58 Parametri metrici di una carta

- **Gradi di risoluzione:** dimensione lineare del particolare più piccolo rappresentabile. E' dato dal minimo spessore del tratto grafico con cui la carta viene disegnata (per convenzione 0,2mm)
- **Errore massimo di posizionamento:** preso un punto qualsiasi, rappresenta il diametro del cerchio al cui interno il punto è certamente contenuto (tipicamente 0,5mm carta)

## 59 Scale adeguate per i diversi tipi di utilizzo

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 e oltre

## 60 Carte simboliche e carte tecniche

- Carte **simboliche:** Nella cartografia a media/piccola scala (es.: 1:25.000) ragioni di graficismo obbligano talvolta ad adottare segni convenzionali e a modificare dimensioni e posizione degli elementi.
- Carte **tecniche:** Le Carte Tecniche sono caratterizzate dal fatto che tutti gli elementi sono rappresentati in vera proiezione, senza subire operazioni di “gonfiamento” o di “spostamento”. Si tratta quindi di cartografia a grande scala (fino a 1:5.000, 1:10.000), adeguata per attività di progettazione.

## **61 Lettura delle carte I.G.M.I. 1:25000**

Strati omogenei:

- Ferrovie
- Viabilità
- Edificato
- Idrografia
- Orografia
- Vegetazione
- Toponomastica e limiti amministrativi
- Indicazioni ausiliarie (scala, ecc.).

Utilizzo di segni convenzionali:

- Dimensioni minime per una casa isolata di 18 m terreno;
- Case spostate se si sovrappongono alla rappresentazione di una strada.

## **62 Lettura delle C.T.R. 1:10.000**

Strati omogenei:

- Comunicazioni
- Edifici ed altre strutture
- Idrografia
- Infrastrutture
- Elementi divisorii e di sostegno
- Forme terrestri
- Vegetazione
- Orografia
- Limiti amministrativi e varie
- Toponomastica

Carta tecnica: tutti gli elementi in esatta proiezione