

Sistemi di riferimento

Paolo Zatelli

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
Università di Trento

Outline

- 1 Sistemi di riferimento e di coordinate
- 2 Sistemi di riferimento e di coordinate terrestri
- 3 Geoide ed ellissoide
- 4 Scelta e orientamento dell'ellissoide
- 5 Sistemi globali e locali
- 6 Sistemi di riferimento utilizzati in Italia
- 7 Approssimazioni e trasformazioni

Posizione

La posizione è un concetto relativo: la posizione è cioè data *rispetto ad altri punti*.

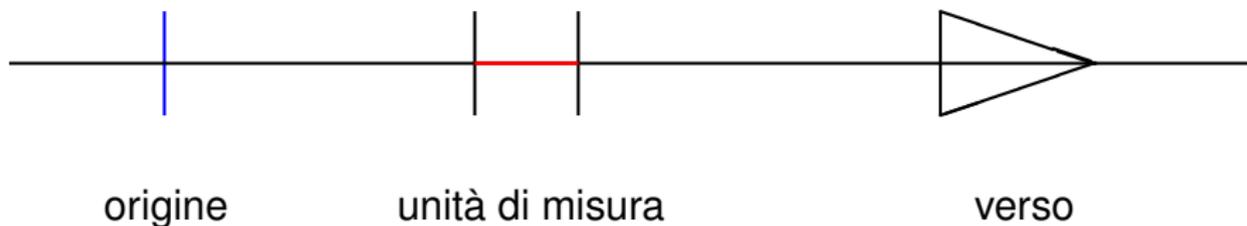
È comodo “condensare” l’informazione di posizione in “etichette” legato al singolo punto



coordinate

Per condensare le informazioni di posizione (relativa) nelle coordinate (di singoli punti) bisogna *istituire un sistema di riferimento*

Esempio 1D



in 2 dimensioni si aggiunge una origine delle direzioni (nel piano).

Sistemi di riferimento e di coordinate

Spesso la scelta si fa **implicitamente**

Ad esempio fissando le coordinate cartesiane di **2 punti sul piano** (4 informazioni) si fissano indirettamente:

- origine (2 informazioni)
- orientamento (1 informazione)
- scala (1 informazione)

In coordinate cartesiane è tutto intuitivo ma in generale il sistema di riferimento ed il sistema di coordinate **sono due cose distinte**.

In pratica si fissa il sistema di riferimento scegliendo un sistema di coordinate.

Sistemi di riferimento e di coordinate terrestri

Per la Terra fa comodo un sistema di riferimento e un tipo di coordinate terrestri:

- legati alla forma della Terra
- legati al campo della gravità

le due cose sono a loro volta legate

Sistemi di riferimento e di coordinate terrestri

Una scelta ragionevole è la terna (H_W, Φ, Λ) , dove:

- H_W è funzione lineare di W , potenziale del campo gravitazionale terrestre (indica l' "alto" e il "basso")

$$H_W = \frac{W - W_0}{\gamma_0}$$

- Φ e Λ sono gli angoli che determinano la direzione del vettore gravità

Nota: ovviamente H_W , Φ , e Λ sono ben definiti dopo aver scelto un sistema di riferimento.

Sistemi di riferimento e di coordinate terrestri

(H_W, Φ, Λ)

- 1 hanno significato fisico
 - 2 hanno scarso significato geometrico
- vantaggi di (1.): H_W incorpora il concetto di “alto” e “basso”, Φ e Λ sono determinati senza punti di riferimento terrestri (utile in mare)
 - svantaggi di (2.): non descrivono direttamente la posizione dei punti (es.: non si può calcolare distanze)

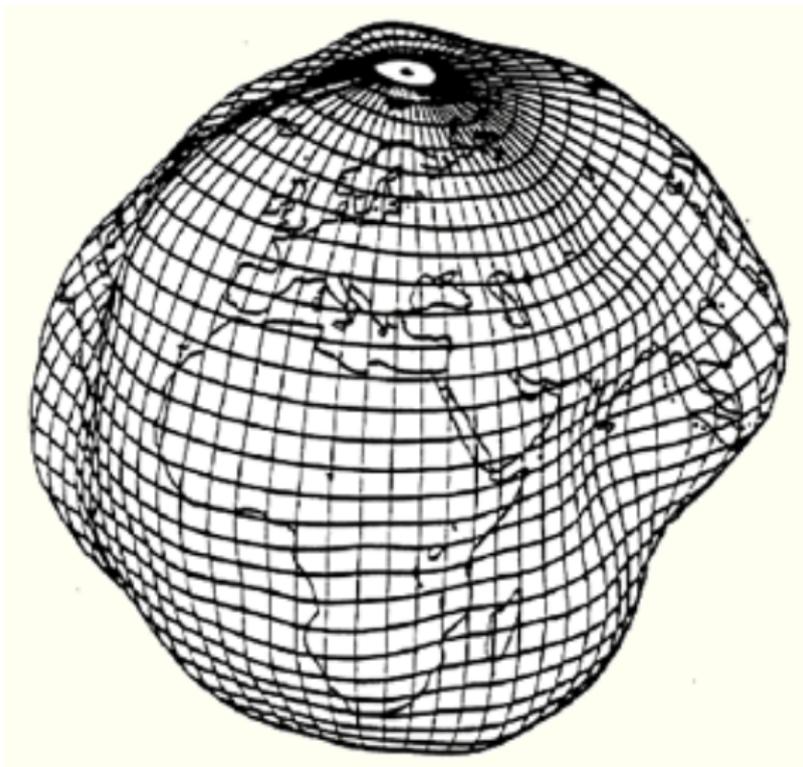
Quota ortometrica

Si sostituisce a H_W la quota ortometrica H , **distanza** da una superficie W_0 con W fissato (**geoida**) misurata lungo le linee di forza del campo gravitazionale terrestre.

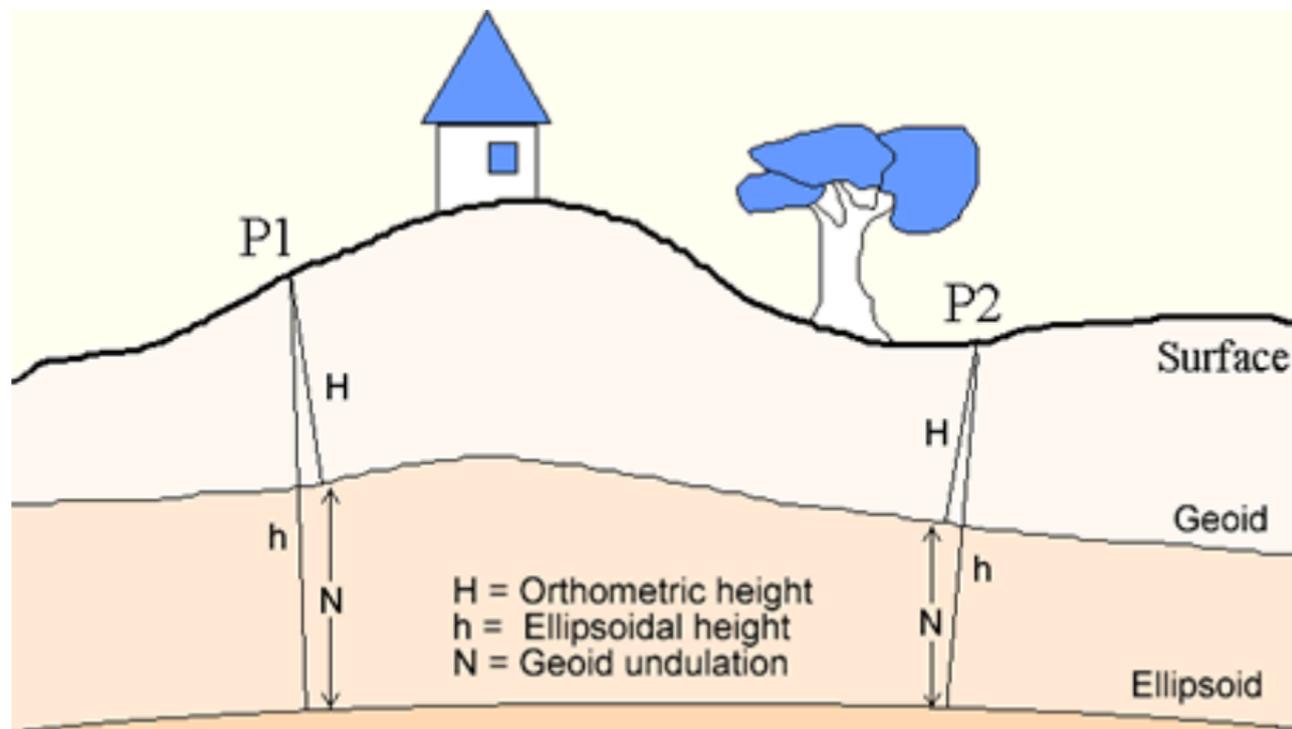
L'uso di H è un compromesso tra scegliere significato fisico e geometrico.

Geoide

Si sceglie una superficie di riferimento a $W = W_0$ costante:



Quota ortometrica



Coordinate geodetiche

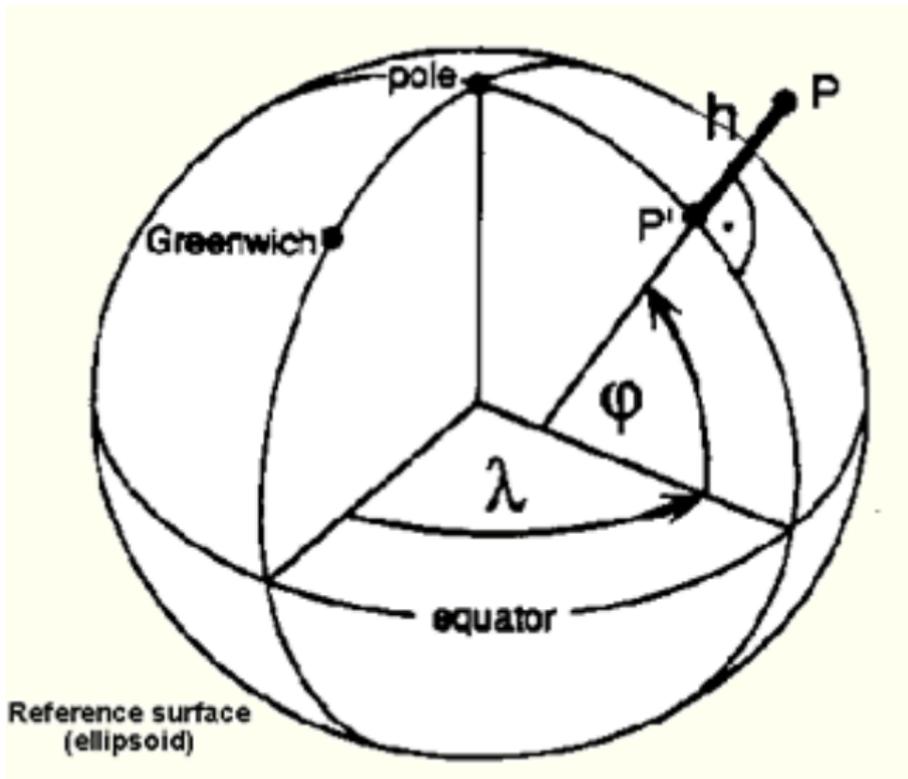
Per avere coordinate con significato geometrico si fa riferimento ad un ellissoide di rotazione, scelto in modo da approssimare (globalmente o localmente) bene il geoide.

Superficie di riferimento più semplice e descrivibile analiticamente



coordinate di significato geometrico.

Coordinate geodetiche



Coordinate geodetiche

La tripletta di coordinate (ϕ, λ, h) ha significato geometrico, ma solo rozzamente fisico (è legata alla forma della terra).

Nella maggior parte dei casi (es. cartografia) si fa una scelta ibrida, usando la tripletta (ϕ, λ, H) , dove:

- (ϕ, λ) hanno significato geometrico
- H è un compromesso tra significato fisico e geometrico

Latitudine e longitudine

latitudine ϕ angolo fra la normale all'ellissoide per il punto e piano equatoriale, $-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ o $90^\circ S \leq \phi \leq 90^\circ N$,
 $\phi = \text{cost.} \rightarrow \textit{parallelo}$

longitudine λ angolo fra il piano per il punto e il piano per un punto fissato, entrambi appartenenti al fascio di piani avente come supporto l'asse di simmetria, $-180^\circ \leq \lambda \leq +180^\circ$ o $180^\circ W \leq \lambda \leq 180^\circ E$, $\lambda = \text{cost.} \rightarrow \textit{meridiano}$

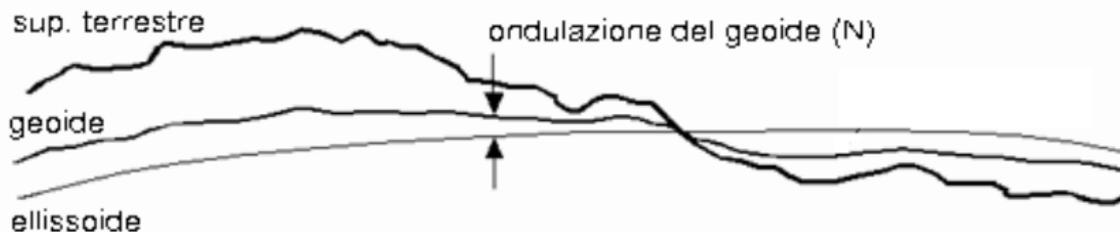
Ondulazione del geoide

Il GPS fornisce le coordinate (ϕ, λ, h) , mentre i rilievi tradizionali (es. cartografia) usano (ϕ, λ, H) , è necessario conoscere l'

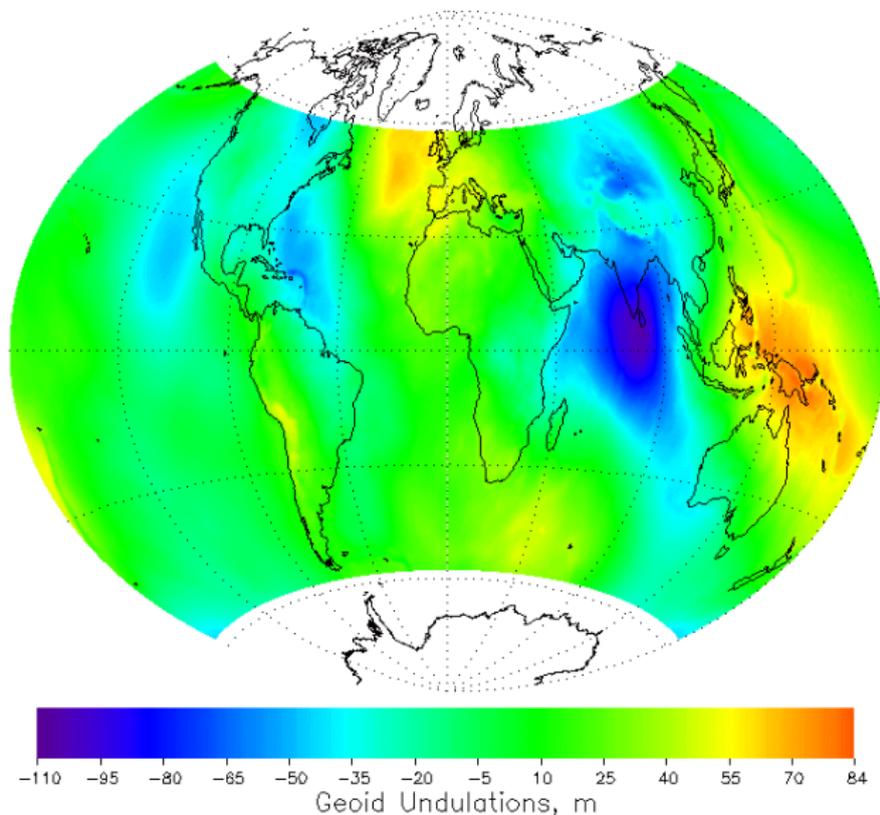
ondulazione del geoide

per passare da h a H .

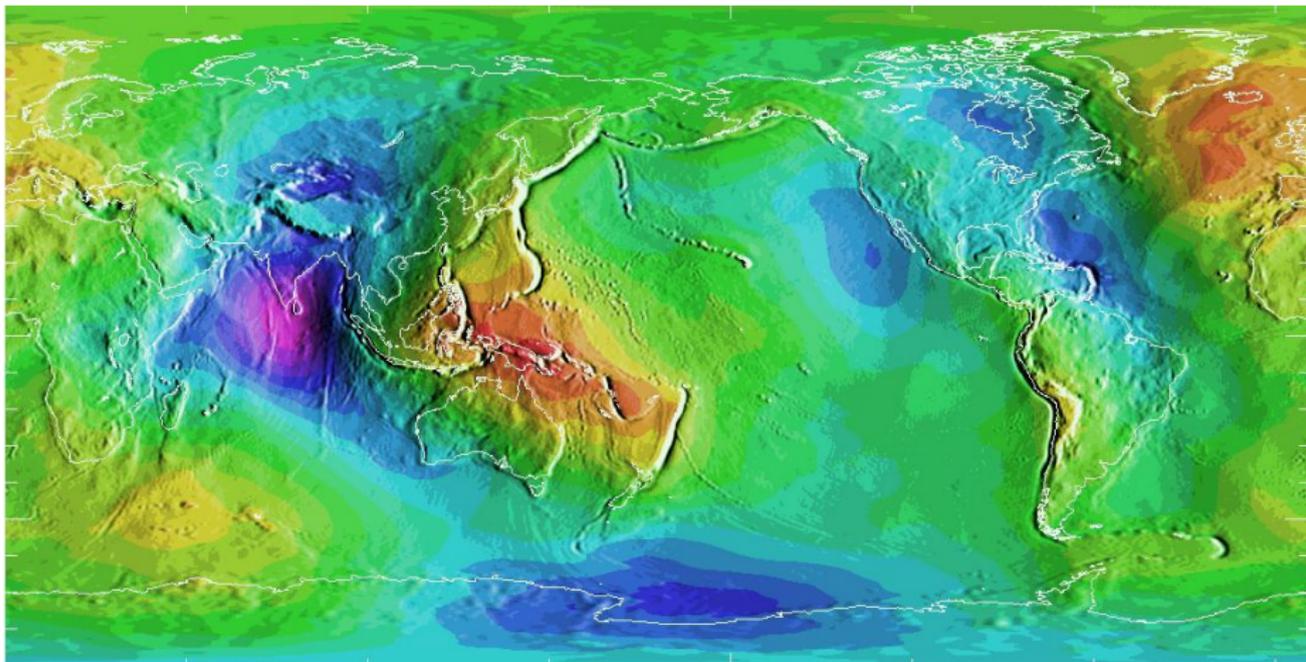
Ondulazione del geoide



Ondulazione del geoide



Ondulazione del geoid



Da rosso (85.4 m) a magenta (-107.0 m)

Scelta e orientamento dell'ellissoide

Per usare un'ellissoide come superficie di riferimento si deve:

1 scegliere l'ellissoide scegliendo (fissano l'unità di misura):

- semiassi a e b , oppure
- semiasse maggiore a e schiacciamento f , oppure

$$f = \sqrt{\frac{a-b}{a}}$$

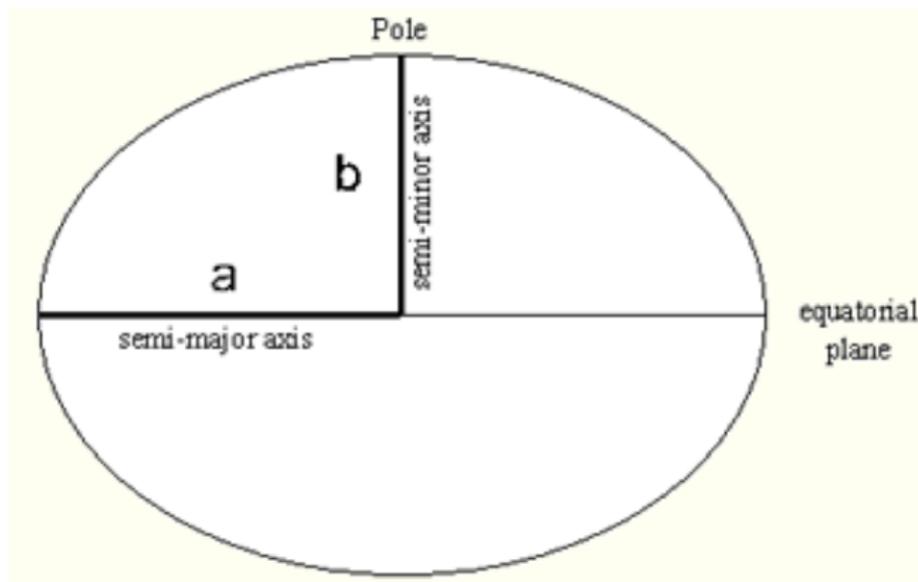
- semiasse maggiore a e eccentricità e

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

2 orientarlo (posizionarlo rispetto alla Terra).

Scelta dell'ellissoide

Il semiasse maggiore a è sul piano equatoriale, il semiasse minore b è lungo l'asse di rotazione:



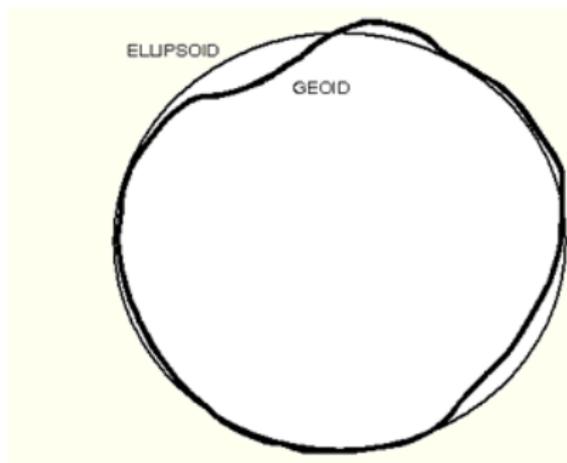
Scelta dell'ellissoide

Le misure geodetiche di fine 1800 - inizio 1900 hanno avuto come scopo la determinazione di forma e dimensioni ottimali dell'ellissoide:

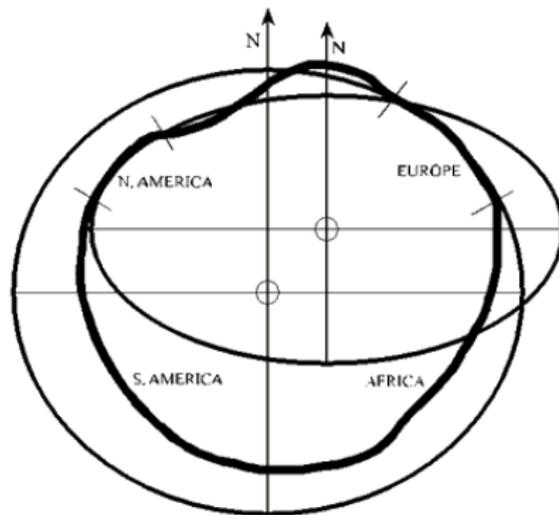
Nome	Data	a[m]	b[m]	Usato da
Everest	1830	6377276	6356079	India Burma Sri Lanka
Bessell	1841	6377397	6356079	Eu. Cent. Cile Indon.
Airy	1849	6377563	6356257	Gran Bretagna
Clarke	1866	6378206	6356584	N. America Filippine
Clarke	1880	6378249	6356515	Francia Africa
Helmert	1907	6378200	6256818	parte dell'Africa
Internazionale <small>Hayford</small>	1924	6378245	6356912	UTM Italia (roma40)
Krasovsky	1940	6378245	6356863	Russia Eu. Or.
GRS80	1980	6378137	6356752	Nord America
WGS84	1984	6378137	6356752	Mondo (GPS)

Orientamento dell'ellissoide

L'orientamento può essere fatto



globalmente



localmente

Orientamento geocentrico dell'ellissoide

- baricentro coincidente con il centro di massa terrestre
- asse z coincidente con l'asse di rotazione media (per un periodo fissato) terrestre
- asse x su un piano (contenente l'asse z) prescelto (meridiano di Greenwich)

Orientamento locale dell'ellissoide

Per un punto fissato (in genere vicino al baricentro della regione):

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = \phi \\ \Lambda = \lambda \\ H = h \end{array} \right\} \textit{ scelta origine geoidale}$$

- asse di simmetria dell'ellissoide parallelo all'asse di rotazione medio terrestre
- un meridiano dell'ellissoide coincidente con il nord geografico

Spesso questi parametri sono fissati implicitamente fissando le coordinate di alcuni punti.

Sistemi globali e locali

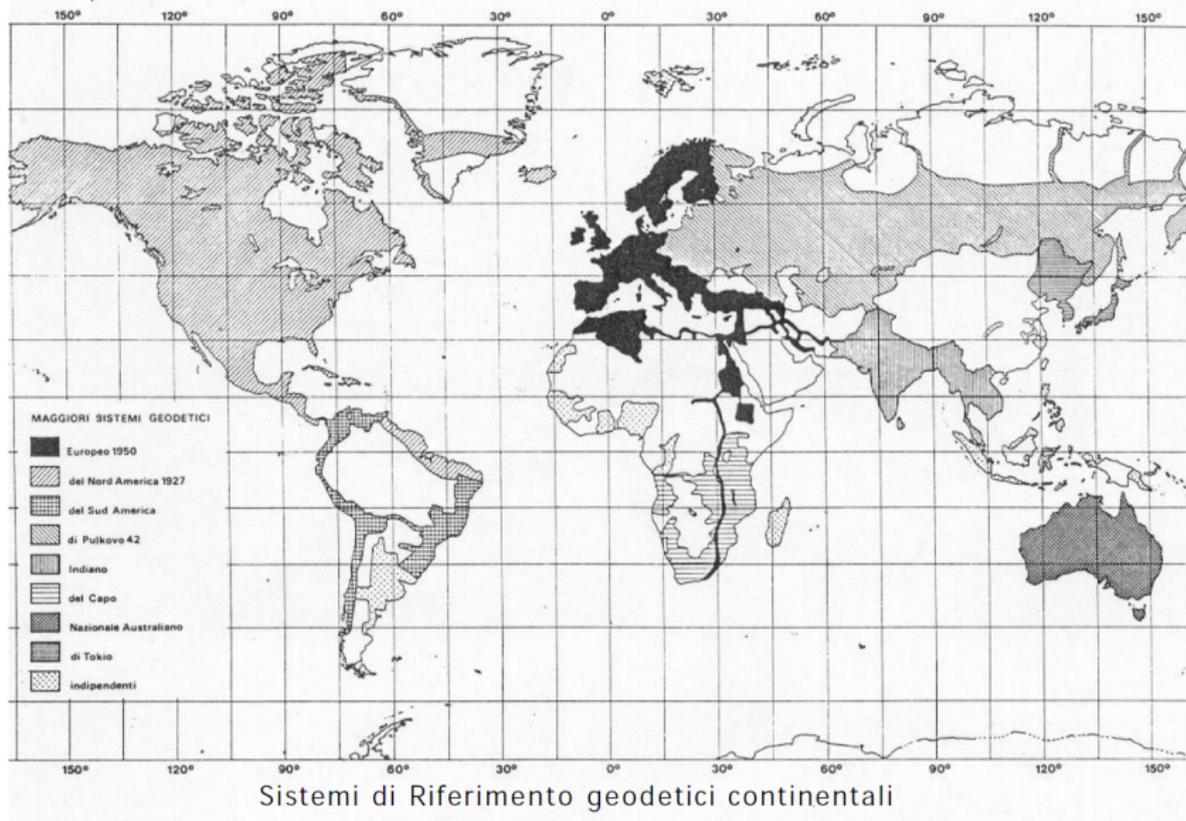
L'utilizzo di sistemi di posizionamento satellitare richiede sistemi di riferimento globali

ma

in passato la definizione di sistemi di riferimento globali era complicato e di scarso interesse, per il carattere locale delle tecniche di rilievo.

Per questo motivo esistono più di 150 sistemi di riferimento per uso locale.

Sistemi di riferimento continentali



Sistemi di riferimento utilizzati in Italia

Il primo sistema di riferimento nazionale italiano fu istituito alla fine dell'800:

- ellissoide di Bessell orientato in tre punti diversi (Genova, M. Mario e Castanea delle Furie), usando tre sistemi di riferimento diversi
- proiezione: Flamsteed modificata
- rete di triangolazione compensata a blocchi tra il 1908 e il 1919

Sistema di riferimento catastale

È teoricamente non più in uso:

- ellissoide di Bessel
- orientamento a Genova Istituto Idrografico della Marina (definizione astronomica 1902)
 - $\phi = 44^{\circ}25'08.235''$
 - $\lambda = 0^{\circ}$
 - azimut su Monte del Telegrafo $\alpha = 117^{\circ}31'08.91''$
- rete di triangolazione IGM + triangolazione catastale

Sistema di riferimento Roma40

È il sistema ufficiale italiano in uso:

- ellissoide Internazionale (o di Hayford)
- orientamento a Roma Monte Mario (def. astronomica 1940):
 - $\phi = 41^{\circ}55'25.51''$
 - $\lambda = 0^{\circ}$ ($12^{\circ}27'00.88''$ da *Greenwich*)
 - azimut su Monte Soratte $\alpha = 6^{\circ}35'00.88''$
 - $h = H = 0$ sul mareografo di Genova
- rete di triangolazione compensata a blocchi tra il 1908 e il 1919, usando un sistema di rif. provvisorio con successiva trasformazione di coordinate → distorsioni della rete.

Sistema di riferimento ED50 (European Datum 1950)

È un sistema realizzato per rendere omogenea la cartografia a piccola e media scala a livello europeo:

- ellissoide Internazionale (o di Hayford)
- orientamento medio europeo 1950
- origine delle longitudini Greenwich

Sistemi di riferimento globali

Si usano due tipi di sistemi di riferimento:

- sistemi di riferimento **fissi**, definiti da posizioni apparenti delle stelle, orbite di pianeti e satelliti
- sistemi di riferimento **solidali con la Terra**: definiti fissando le coordinate di alcuni punti

La Terra non è rigida → le coordinate dei punti cambiano nel tempo → i set di coordinate che materializzano i sistemi di riferimento devono essere aggiornati e sono definiti con riferimento ad un anno.

IERS Terrestrial Reference System (ITRS)

Definito dall'IERS (International Earth Rotation Service):

- origine coincidente con il centro di massa terrestre;
- asse Z passante per la Conventional International Origin (CIO);
- l'asse X diretta verso il meridiano zero (Greenwich);
- asse Y formante una terna sinistrorsa.

L'IERS pubblica periodicamente una realizzazione dell'ITRF (International Terrestrial Reference Frame), materializzazione dell'ITRS, basata su coordinate e velocità di un insieme di punti, misurate con VLBI, LLR, SLR e GPS ad un dato anno (es. ITRF96).

Sistema di riferimento WGS84

È un sistema cartesiano con asse z coincidente con l'asse di rotazione convenzionale terrestre, con un'ellissoide associata:

- ellissoide WGS84;
- realizzazioni (fissano le coordinate di punti diversi):
 - globale: Dipartimento delle Difesa USA
 - europea: EUREF89=ETRF89
 - italiana: IGM95

È il sistema di riferimento utilizzato dal sistema GPS.

Raggi di curvatura dell'ellissoide

Sono i raggi di curvatura delle curve che si ottengono intersecando l'ellissoide con il piano contenente la normale per il punto considerato:

raggio di curvatura del meridiano (curva di raggio minimo)

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^3}}$$

raggio di curvatura ortogonale al meridiano (curva di raggio massimo, non contiene il parallelo)

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}$$

Approssimazioni **locali** dell'ellissoide

Per avere geometrie più semplici da trattare si approssima localmente l'ellissoide, per la sola parte planimetrica, con:

- sfera locale** di raggio $R = \sqrt{\rho \cdot N}$, approssima l'ellissoide nel *campo geodetico*, per circa 300 km attorno al punto di interesse
- piano** nel *campo topografico*, per circa 10-15 km attorno al punto di interesse

Trasformazione tra sistemi di riferimento

Cambiamento di sistema di riferimento
=
trasformazione conforme (inversa)

La trasformazione è semplice solo in coordinate cartesiane

$$x = Rx' + x_0$$

Trasformazione tra sistemi di riferimento

Molto spesso si usa una rototraslazione e variazione di scala in 3 dimensioni per assorbire deformazioni delle reti che materializzano i sistemi di riferimento:

$$x = \lambda R x' + x_0$$

In molti casi si suddivide l'area in cui si fa la trasformazione in zone di estensione limitata e si determina un set di parametri per ogni zona.

Bibliografia

Benciolini B., 2004, *Dispensa sui sistemi di riferimento*, comunicazione personale.

Surace L., 1998, *La georeferenziazione delle informazioni territoriali*, Bollettino di geodesia e scienze affini, anno LVII, n. 2, pp. 181-234.

Per le immagini

<http://kartoweb.itc.nl/geometrics/Reference%20surfaces/body.htm>

Questa presentazione è ©2009 Paolo Zatelli, disponibile come



Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo 2.5 Italia

Tu sei libero:



di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera



di modificare quest'opera

Alle seguenti condizioni:



Attribuzione. Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.



Non commerciale. Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.



Condividi allo stesso modo. Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

- Ogni volta che usi o distribuisi quest'opera, devi farlo secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza.
- In ogni caso, puoi concordare col titolare dei diritti utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.
- Questa licenza lascia impregiudicati i diritti morali.