

Geodesia

Studio della forma e delle dimensioni della Terra

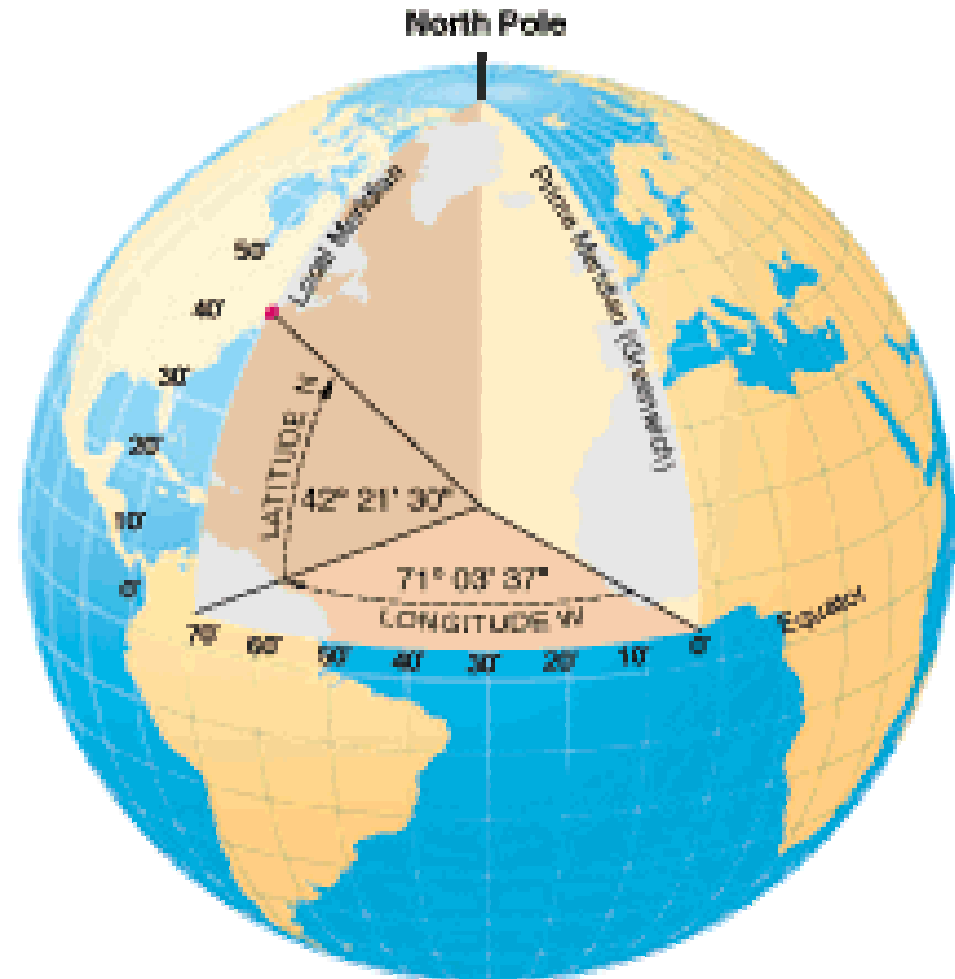
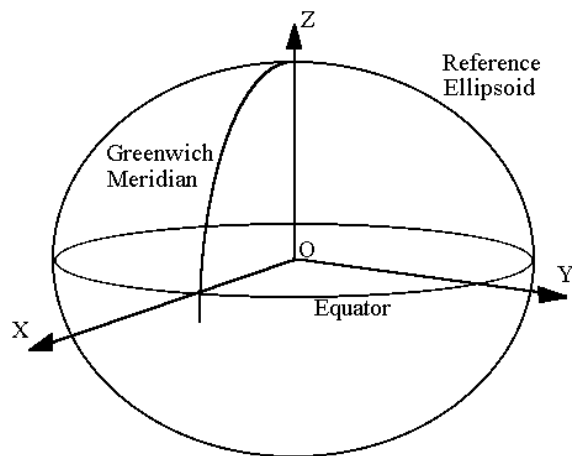


Scelta di modelli semplificati della Terra

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

Sistema di riferimento geografico

La posizione di un punto sulla superficie terrestre si può indicare mediante due angoli: la latitudine, misurata a partire dal piano equatoriale, e la longitudine, misurata a partire dal meridiano di Greenwich.



Greenwich e la misura della posizione

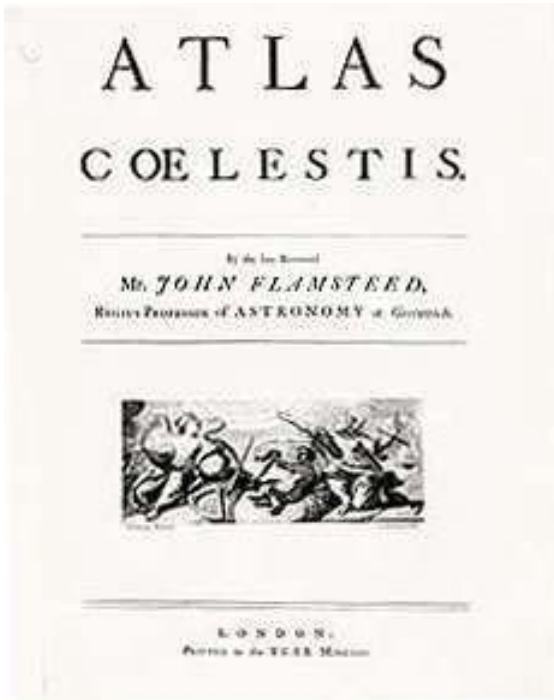


Sia la longitudine che la latitudine sono misurate come porzioni di un cerchio di 360° , in termini di gradi, primi e secondi (angoli sessagesimali). Poiché la Terra ruota di 360° in 24 ore, risulta che 360° equivalgono a 24 ore, 180° a 12 ore, 15° a 1 ora, 1° a 4 minuti, 1 minuto a $15'$, ecc.

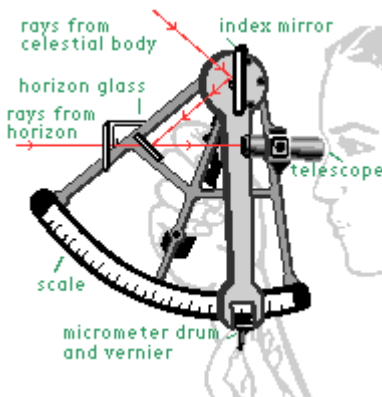
Se siamo in grado di conoscere la differenza tra i tempi locali di due posti, siamo in grado di conoscerne la differenza di longitudine.

Se un marinaio sa che è a 3 ore da Greenwich, egli sa anche di essere a 45° ad est o ad ovest da Greenwich. Il problema che i navigatori dovevano affrontare era come conoscere esattamente l'ora locale in due posti.

La misura della posizione II

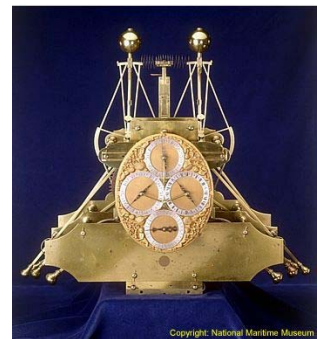
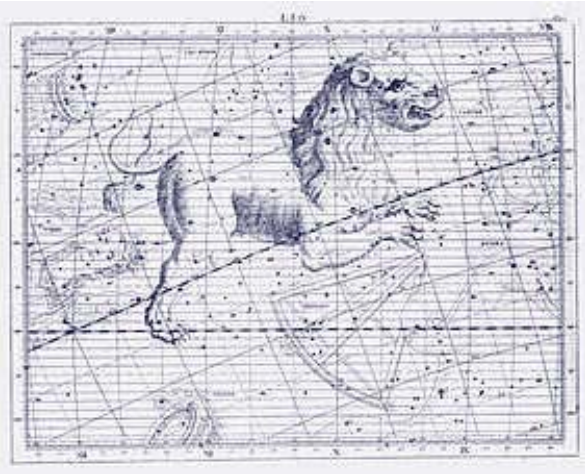


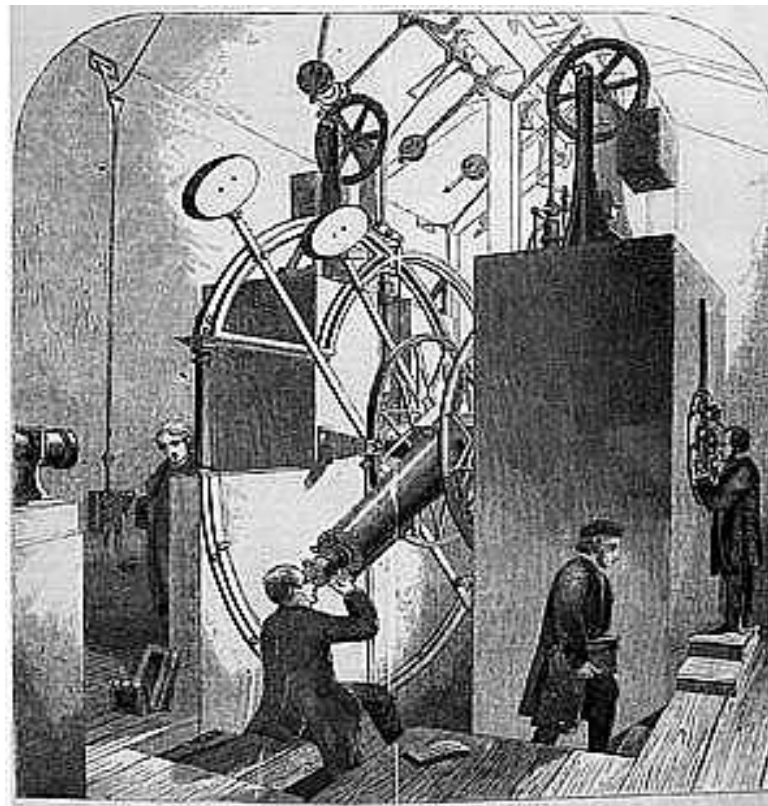
Se disponiamo di un orologio, preciso, il più possibile insensibile ai movimenti della nave sul mare, sincronizzato con l'ora di Greenwich, e abbiamo un almanacco della posizione di corpi celesti che ci consenta, tramite misure degli angoli tra stelle visibili e l'orizzonte, di calcolare esattamente l'ora locale, siamo in grado di conoscere la differenza di longitudine rispetto a Greenwich. Misurando con il sestante l'angolo formato da una stella o dal sole con l'orizzonte, possiamo conoscere la latitudine. Con altre misure e con l'uso dell'almanacco possiamo conoscere anche la longitudine. Quindi un navigatore aveva necessità di disporre di un almanacco della posizione dei corpi celesti e di un orologio preciso per poter conoscere la propria posizione durante i viaggi in mare.



La misura della posizione III

L'astronomo reale John Flamsteed fu incaricato della redazione di una mappa delle stelle e di un almanacco delle loro posizioni nel cielo alle diverse ore nei diversi giorni dell'anno. Per tale compito venne fondato l'Osservatorio di Greenwich (1676). Con l'almanacco, e con l'uso di un [sestante](#), un navigatore poteva calcolare l'ora locale e la latitudine. Per poter conoscere la differenza di longitudine rispetto al meridiano di riferimento (il Prime Meridian, come definito dall'Airy Transit Circle (uno speciale telescopio installato nell'Osservatorio di Greenwich)) è necessario anche conoscere l'ora di Greenwich, cosa che è stata possibile solo con la disponibilità di cronometri per uso nautico (come l'H4 con cui [John Harrison](#) vinse il Longitude Prize).

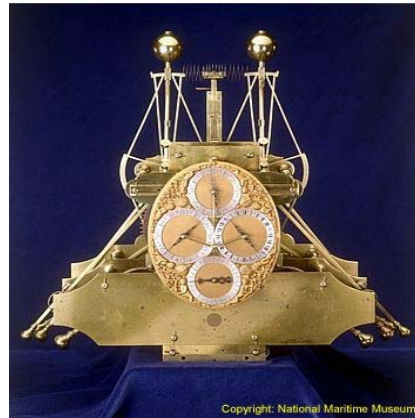




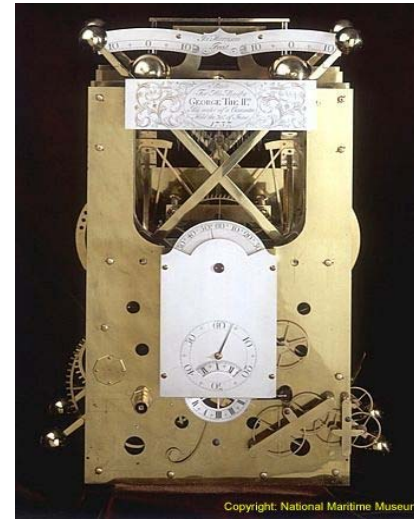
Airy's Transit Circle



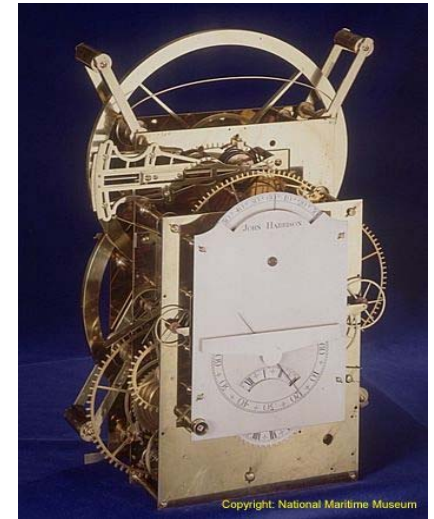
John Harrison
(1693 - 1776)



**H1 1730 -
1735**



**H2 1737 -
1740**



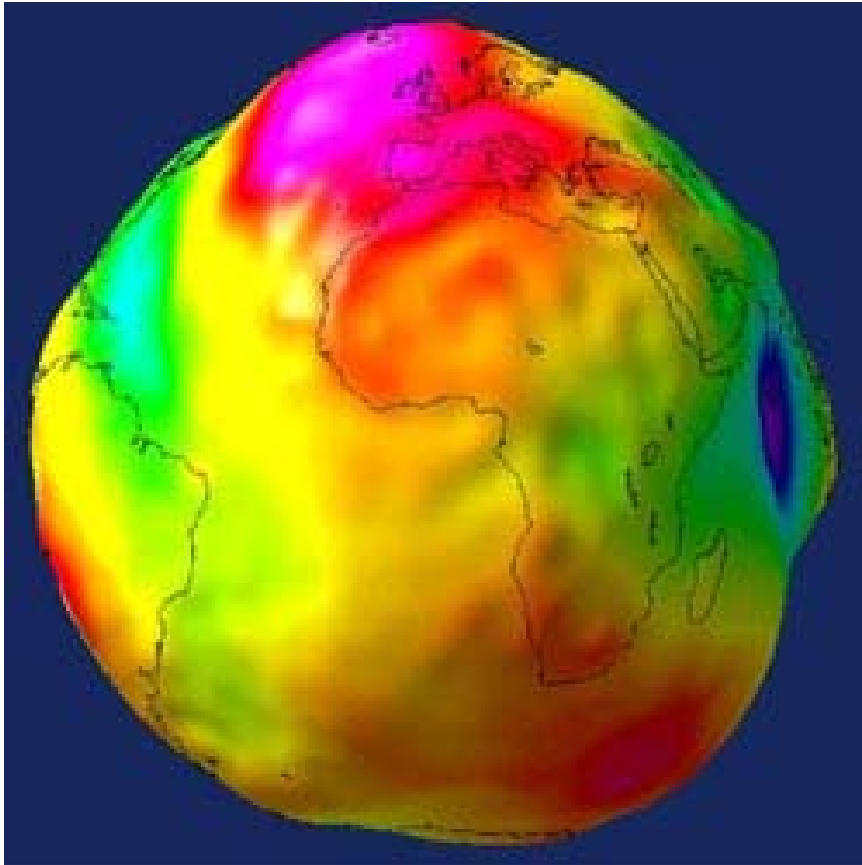
**H3 1740 -
1759**



H4 1755 - 1759

13 cm di diametro e 1.45 kg di peso. Il figlio di Harrison, William partì per le Barbados a bordo del Tartar il 28 Marzo 1764. All'arrivo a Madera l'errore dell'orologio risultò di 39.2 secondi dopo un viaggio di 47 giorni.

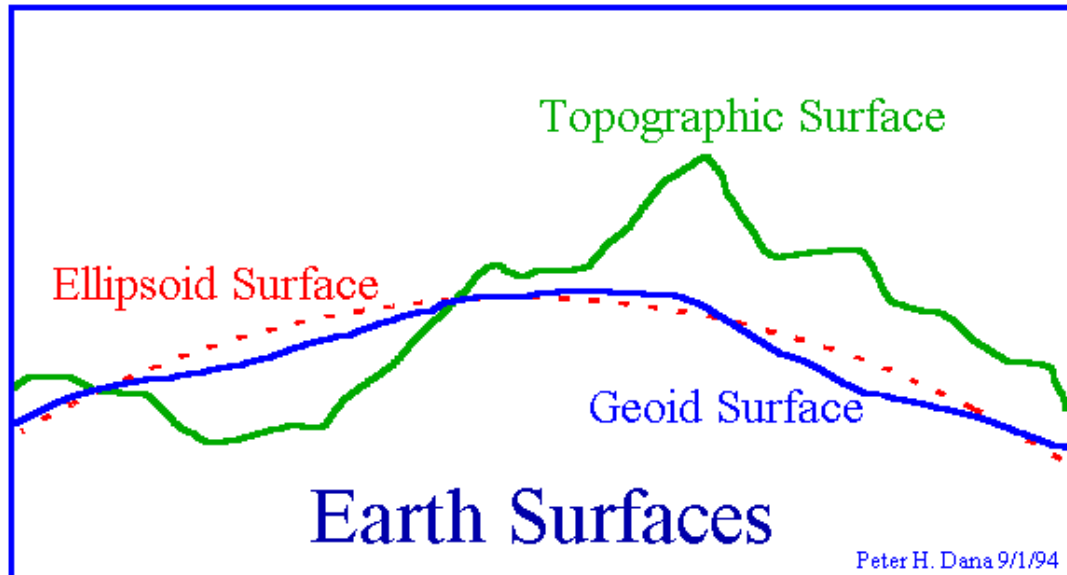
La forma della Terra



- La forma della Terra deriva da molteplici forze (di attrazione gravitazionale, legate ai movimenti di rotazione e traslazione, ecc.) che agiscono sulle sue masse (in parte solide ed in parte fluide)

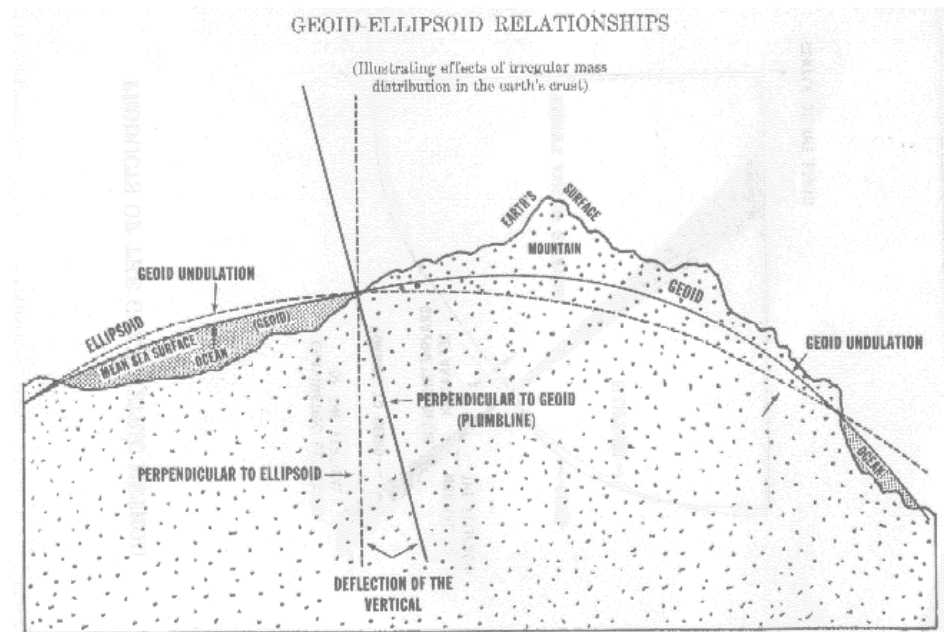
Geodesia

La Geodesia, nello studiare la forma della Terra, ne propone modelli semplificati, quali 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.

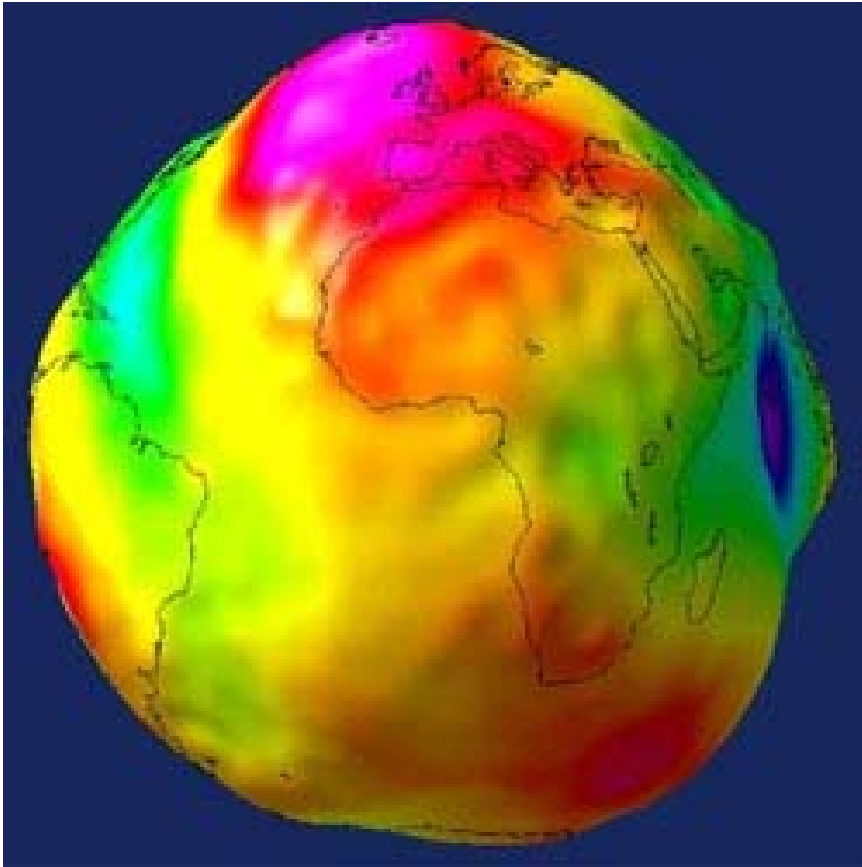


Superficie topografica, geoidica ed ellissoidica

- La superficie topografica è quella che noi vediamo
- La superficie geoidica è quella che “percepriamo” studiando l’attrazione gravitazionale
- La superficie ellissoidica è una astrazione matematica, una semplificazione che noi adottiamo per sostituire la vera Terra con un modello che siamo in grado di descrivere analiticamente.

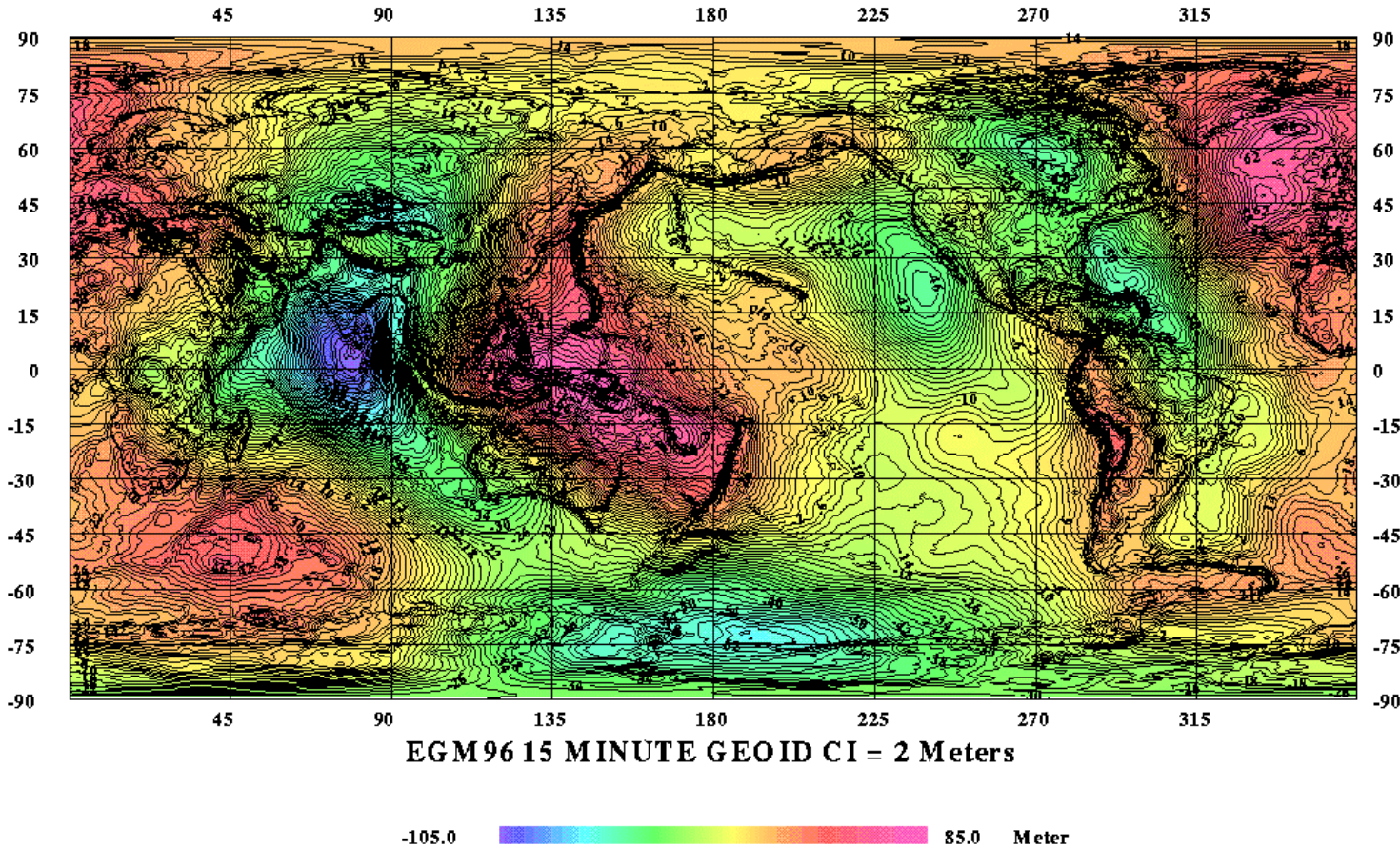


Geoide I



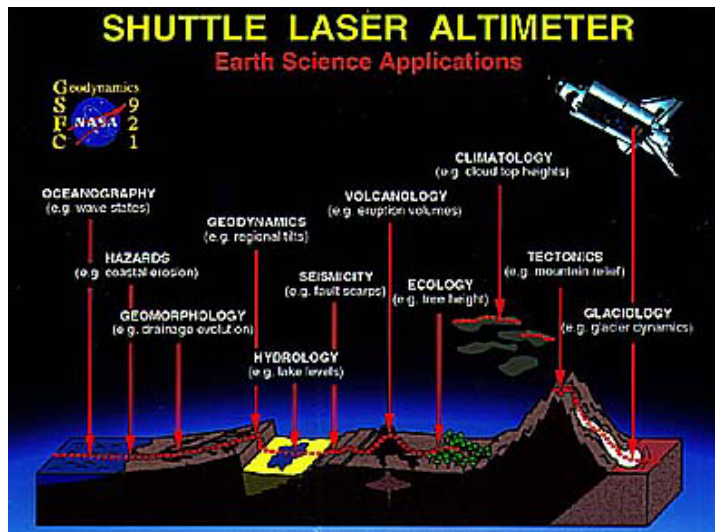
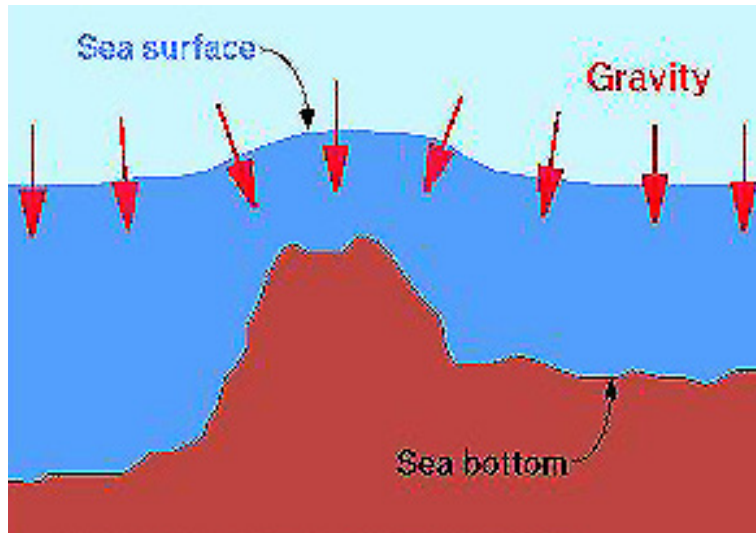
Noi possiamo studiare il geoide misurandone gli scarti (ondulazioni) rispetto alla superficie ellissoidica (che noi adottiamo come riferimento) mediante studi gravimetrici. Possiamo quindi mappare, punto per punto, la differenza di quota (positiva o negativa) tra la superficie dell'ellissoide e quella che “percepriamo” misurando la forza di attrazione gravitazionale (che è legata alla distribuzione delle masse circostanti al punto di misura). 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.

Geoide II



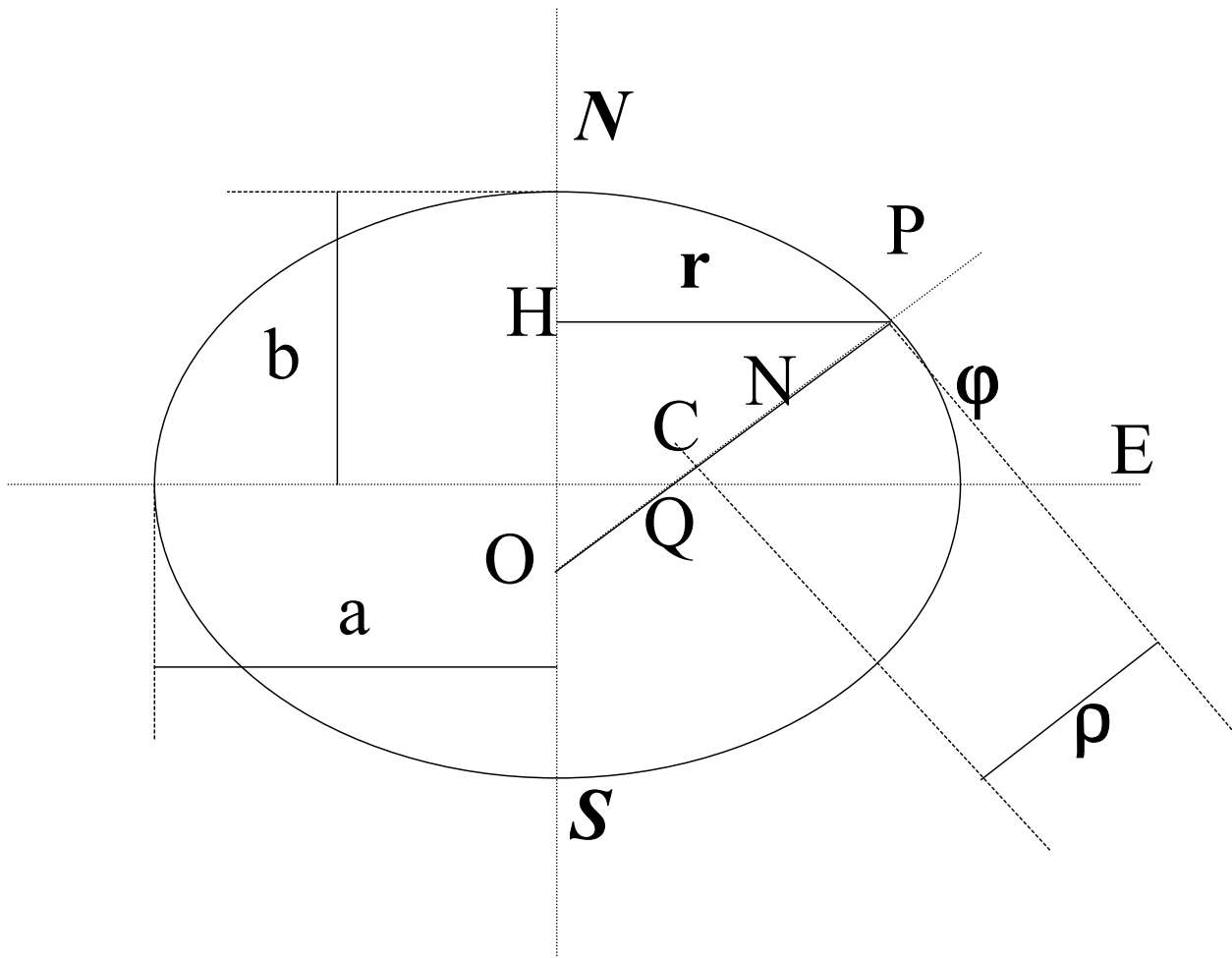
Le ondulazioni che noi misuriamo, raffigurate nella immagine, ci consentono di rappresentare e studiare il geoido, in termini di scostamento dalla superficie ellissoidica di riferimento (modello del geoido EGM96, nel caso della figura)

Geoide III



- L'andamento della superficie geoidica risente della distribuzione delle masse, e reagisce alla presenza/mancanza di massa (“montagne” attraggono verso l'alto la superficie, “fosse” producono avvallamenti nella superficie).
- Misure geofisiche consentono di rilevare variazioni della attrazione gravitazionale, ed in ultima istanza, di valutare le ondulazioni esistenti tra il geoida e l'ellissoide adottato come modello.

Ellissoide I



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

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

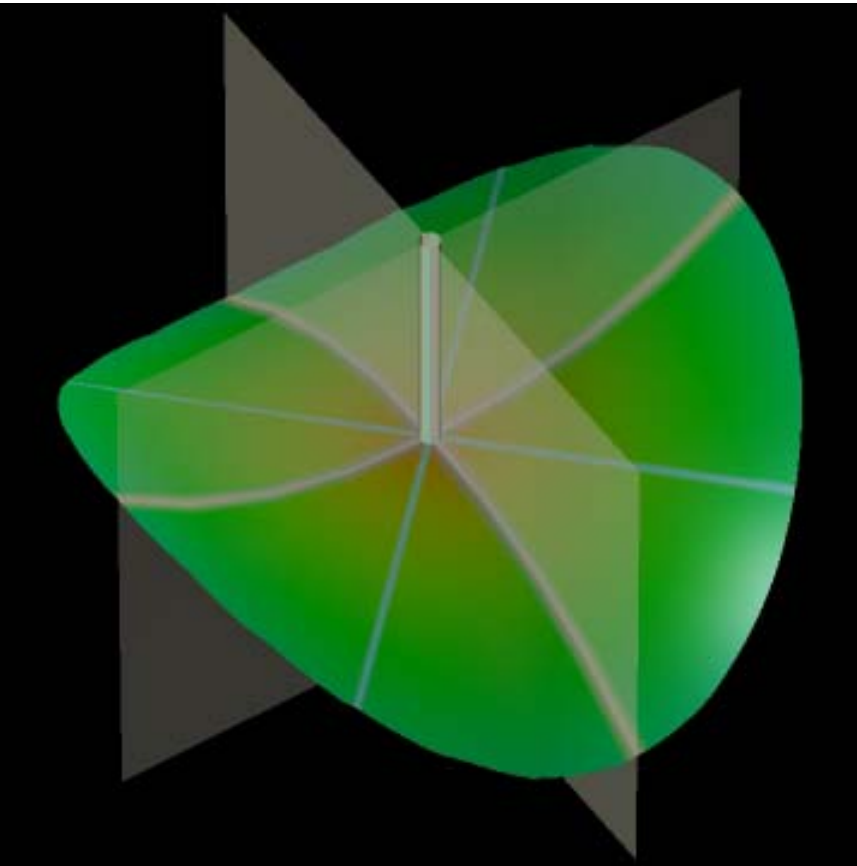
$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

$$r = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

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

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

Raggi di curvatura di una superficie



Una superficie curva, intersecata con due piani ortogonali tra loro e contenenti la perpendicolare alla superficie in un punto \mathbf{P} , forma due curve che, localmente, nel punto \mathbf{P} intercettato dalla perpendicolare, risultano possedere specifici raggi di curvatura (in genere funzione della posizione del punto \mathbf{P}). Tra tutti i raggi di curvatura possibili, uno sarà il minore ed uno sarà il maggiore. Il raggio di curvatura è definito come quello della circonferenza che meglio approssima la curva nelle immediate vicinanze del punto \mathbf{P} .

Ellissoide II

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

Equazione dell'ellissoide avente semiasse maggiore **a** e semiasse minore **b**

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

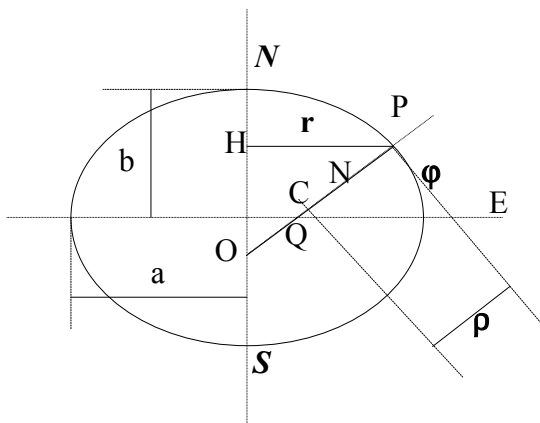
Schiacciamento

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

Eccentricità

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

Raggio di curvatura del meridiano, o raggio di curvatura minore (intersezione dell'ellissoide con il piano contenente il meridiano).



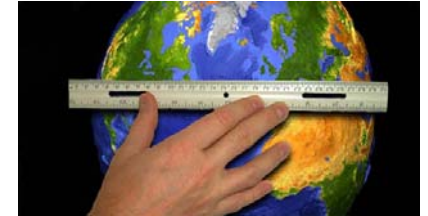
Gran Normale, o raggio di curvatura maggiore (intersezione dell'ellissoide con il piano contenente la verticale al punto **P** e ortogonale al piano contenente il meridiano)

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

Raggio del parallelo di latitudine φ

$$r = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

Alcuni dei principali ellissoidi

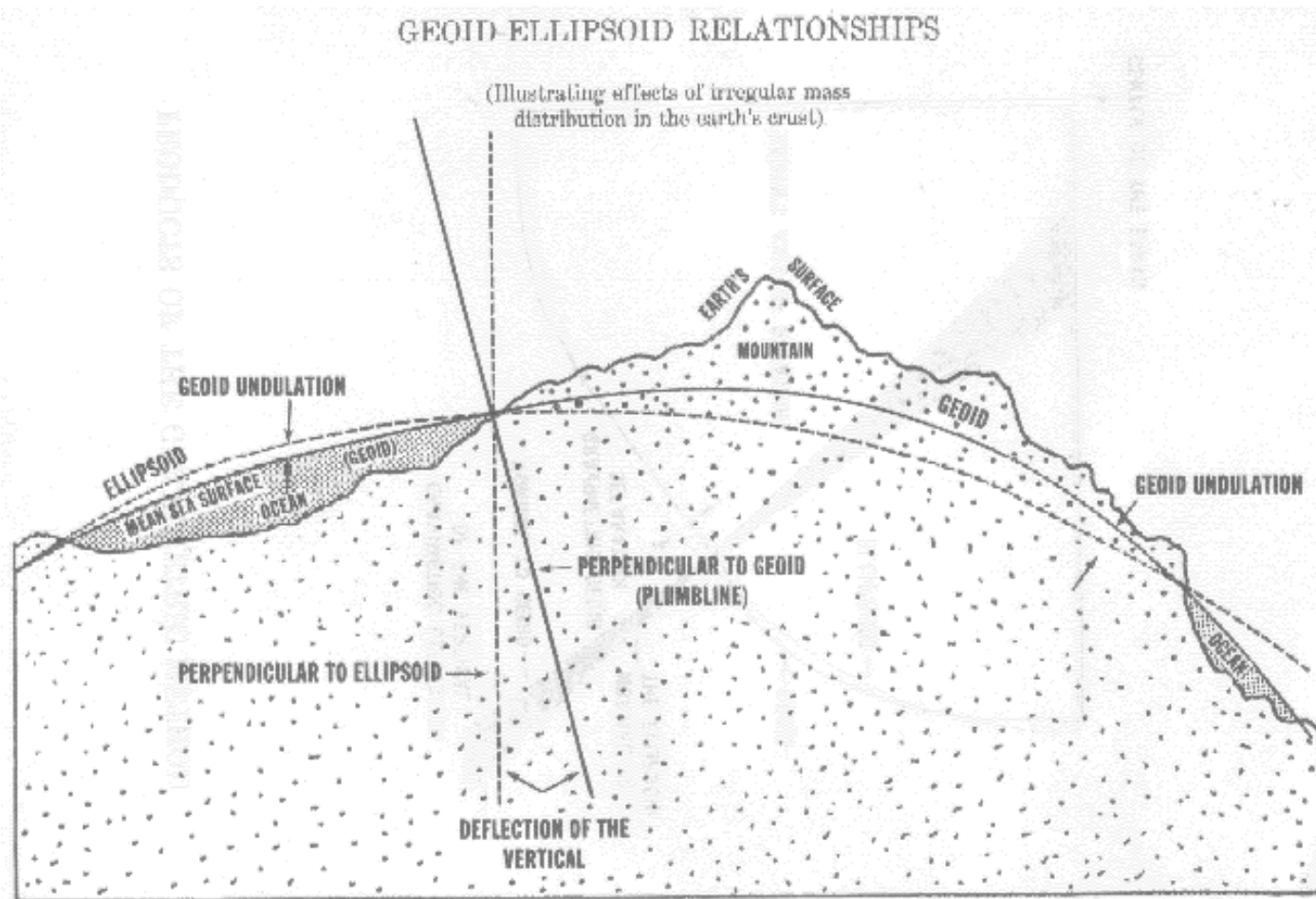


Ellissoide	S.asse maggiore a	Schiacciamento α
EVEREST (1830)	6377276	1/300.8
BESSEL (1841)	6377397	1/299.2
CLARKE (1866)	6378206	1/294.9
CLARKE (1880)	6378301	1/293.5
HELMERT (1906)	6378140	1/298.3
HAYFORD (1909)	6378388	1/297.0
KRASOVSKY (1942)	6378245	1/298.3
FISCHER (1960)	6378160	1/298.3
WGS84 (1987)	6378137	1/298.3

Le dimensioni della Terra

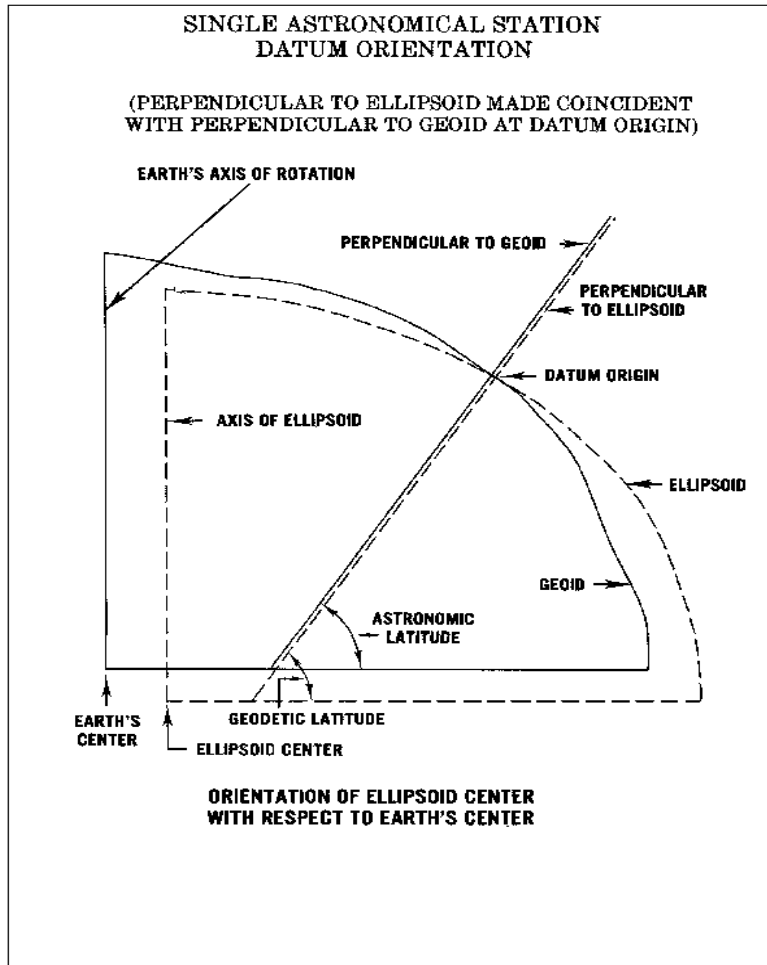
Raggio Equatoriale (a)	Km 6.378,4
Raggio Polare (b)	Km 6.356,9
Differenza (a - b)	Km 21.5
Schiacciamento ($\alpha = [a - b]/a$)	1/297
Circonferenza equatoriale	Km 40.076,6
Lunghezza del Meridiano	Km 40.008,9
Superficie	Km ² 509.950,414
Volume	Km ³ 1.083.000.000
Monte Everest	m 8.882
Fossa di Emden	m -10.793

Superfici topografica, geoidica ed ellissoidica



La verticale al geode, coincidente con la direzione del filo a piombo, non necessariamente coincide con la verticale geometrica all'ellissoide. L'angolo tra le due verticali si chiama deflessione della verticale.

Orientamento ellissoide locale I



L'ellissoide può essere orientato rispetto al geoide in modo che in un certo punto sia garantita la tangenza tra le due superfici e la coincidenza tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica (orientamento forte). La cartografia prodotta proiettando sul piano tale superficie ellissoidica risulterà particolarmente affidabile per tutto il territorio circostante il punto di tangenza.

Figure 15

Orientamento ellissoide locale II

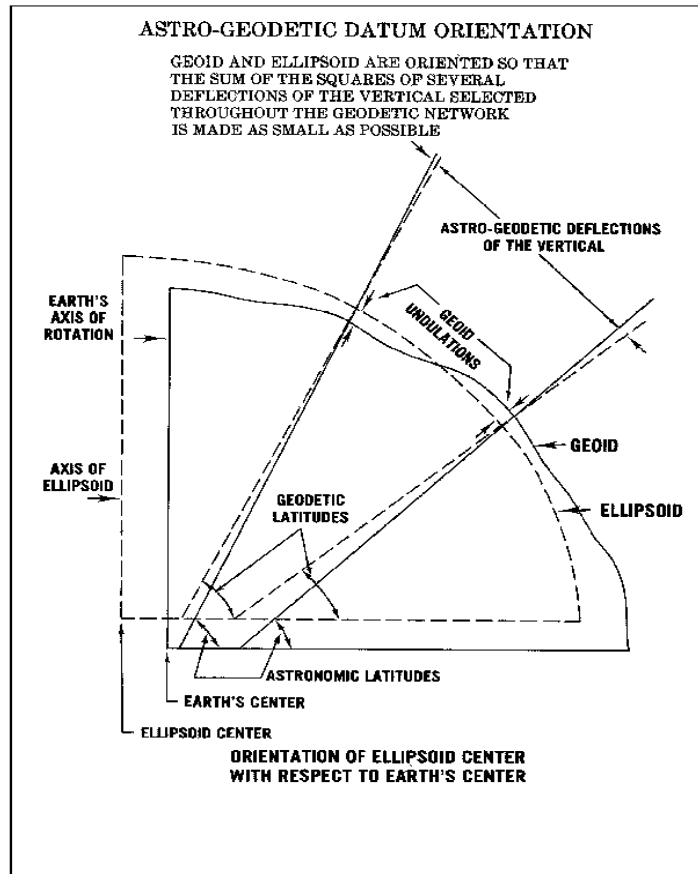
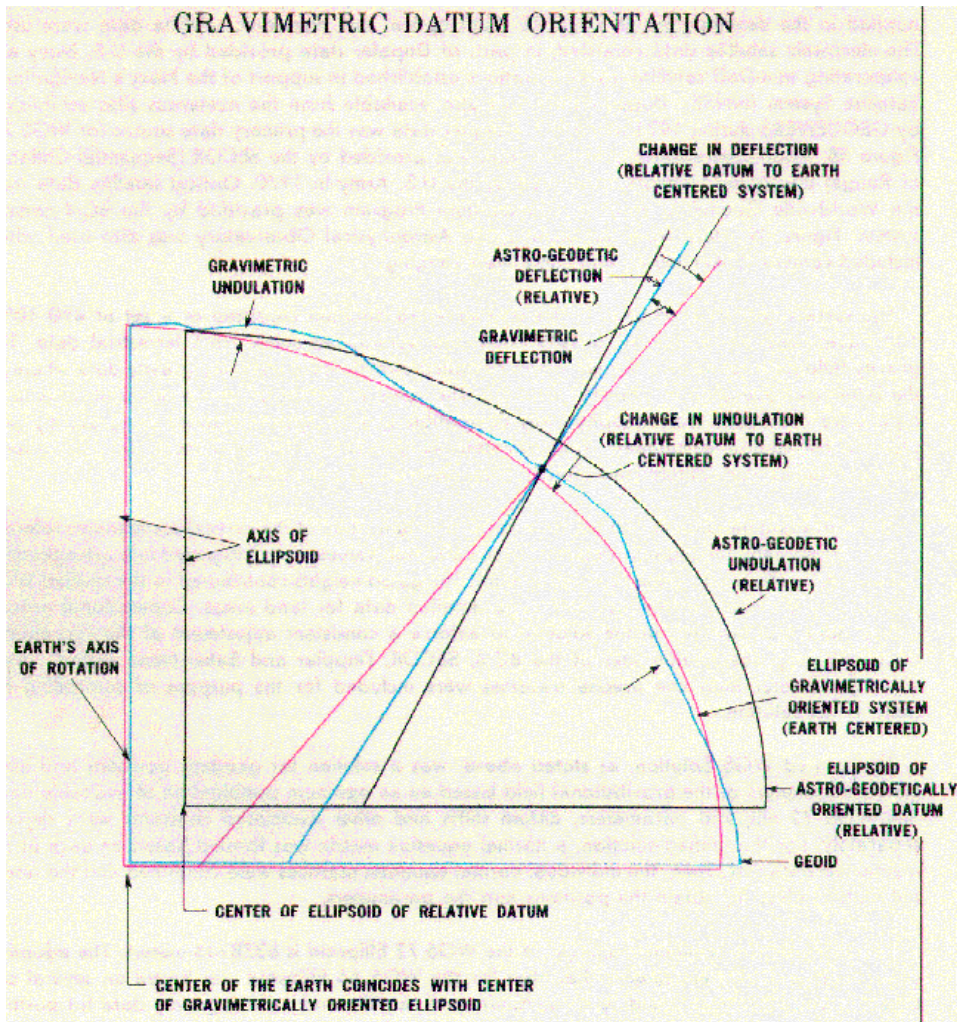


Figure 16

L'ellissoide può essere orientato rispetto al geode in modo che non vi sia un punto in cui sia garantita la tangenza tra le due superfici, e in cui si abbia la coincidenza tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica, ma si abbia piuttosto una posizione reciproca per cui gli scarti tra le due superfici risultino minimi per una vasta estensione di territorio (orientamento debole, o medio). La cartografia prodotta proiettando sul piano tale superficie ellissoidica risulterà sufficientemente affidabile per un vasto territorio circostante il punto di contatto, pur non avendo le caratteristiche di precisione tipiche di un sistema geodetico locale con orientamento forte.

Ellissoide geocentrico



L'ellissoide può essere orientato rispetto al geode in modo che vi sia coincidenza tra il centro dell'ellissoide ed il centro di massa del geode, e quindi non sia garantita la tangenza tra le due superfici e non si abbia alcun punto in cui sia imposta la coincidenza tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica. L'ellissoide, geocentrico, risulta il miglior sistema di riferimento per l'intero pianeta (orientamento geocentrico o globale). La cartografia prodotta proiettando sul piano tale superficie ellissoidica non risulterà ottimale, ma consente di disporre di un unico sistema di riferimento per l'intero pianeta. Diventa indispensabile studiare gli scarti tra ellissoide e geode (ondulazioni).

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:

ellissoide tangente al geoide in corrispondenza dell'osservatorio, ed attribuzione a tale punto delle coordinate geografiche ricavate da misure astronomiche;

coincidenza nel punto di tangenza, o punto di emanazione, tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica, e conseguente minimizzazione tra le deviazioni della verticale e gli scarti tra superficie geoidica ed ellissoidica su tutto il territorio interessato dal Sistema di Riferimento;

orientamento dell'asse di rotazione dell'ellissoide nella direzione del Nord astronomico (ottenuto mediante la definizione di una direzione sia sull'ellissoide che sul geoide: nel nostro caso la geodetica di collegamento di Roma Monte Mario con Monte Soratte, e imposizione della coincidenza del relativo azimuth sia sull'ellissoide che sul geoide).

Sistema di riferimento europeo

Sistema di riferimento Europeo (ED50)

Ellissoide Internazionale di Hayford

Orientamento debole in corrispondenza dell'Osservatorio Astronomico di Potsdam:

ellissoide “legato” al geoide in corrispondenza dell'osservatorio, ed attribuzione a tale punto delle coordinate geografiche ricavate da misure astronomiche;
deviazione della verticale, ovvero scarto tra la verticale geoidica e la verticale ellissoidica, media per tutto il territorio europeo.

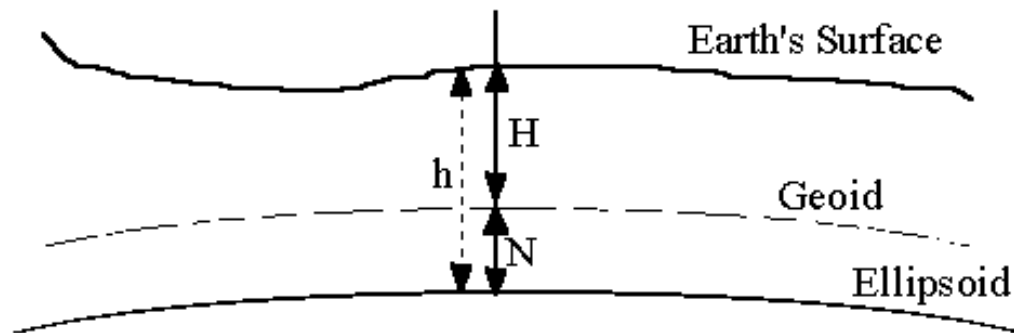
Sistema di riferimento planetario

Sistema di riferimento Mondiale (WGS84)

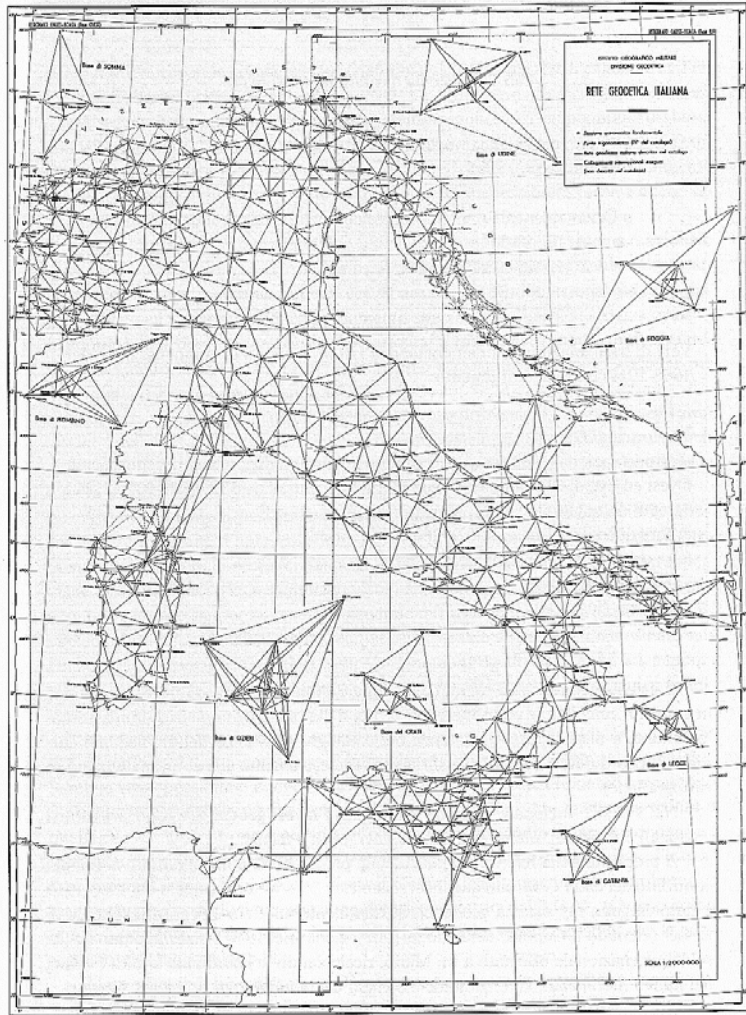
Ellissoide WGS84

Geocentrico;

necessità di stimare le ondulazioni (scarti) esistenti tra la superficie geoidica e quella ellissoidica, non trascurabili.

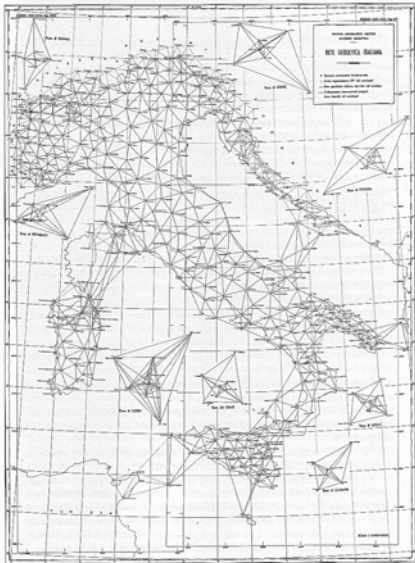
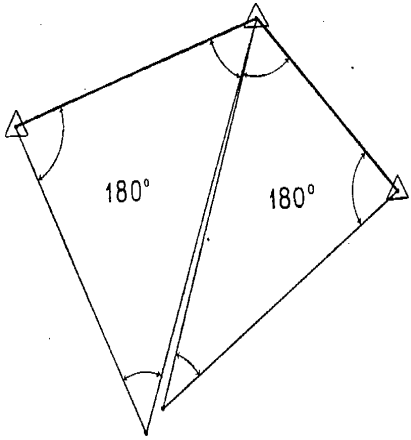


Datum o sistema di riferimento I



Per le esigenze topografiche e cartografiche è necessario disporre sulla superficie terrestre di una serie di punti facilmente individuabili e di coordinate note. A partire dal centro di emanazione (Roma Monte Mario, nel sistema di riferimento Nazionale, le cui coordinate erano state calcolate tramite misure astronomiche, insieme a quelle di altri punti, corrispondenti tipicamente con Osservatori Astronomici), mediante operazioni di triangolazione, si attribuiscono a punti scelti, di cui si rendono disponibili apposite monografie, le coordinate, calcolate misurando gli angoli formati dalle linee che collegano ciascun punto a quelli circostanti, e misurando alcuni dei lati della serie di triangoli (i lati di cui si misura la lunghezza vengono chiamati **basi**).

Datum o sistema di riferimento II



I segmenti che collegano i diversi punti formano una serie di triangoli. A causa di errori e tolleranze nelle misurazioni effettuate, si rileva che le coordinate calcolate per i diversi punti denunciano situazioni di sconnesione tra i diversi triangoli (un punto risulta avere certe coordinate, se calcolate a partire da due punti, e coordinate diverse se calcolate a partire da altri due punti). Per ovviare a tale problema è necessario operare una compensazione delle misure, in modo da ripartire tra tutti i punti gli errori e le tolleranze di misura, e ottenere per ciascun punto delle coordinate che risultino quelle “statisticamente” più probabili. E’ evidente che alle coordinate di ciascun punto sono da intendersi collegate delle tolleranze che ne indicano la relativa affidabilità.

Compensazione reti geodetiche I

I ordine $\varepsilon = \pm 0'',6$

II ordine $\varepsilon = \pm 1'',2$

III ordine $\varepsilon = \pm 2'',0$

L'Istituto Geografico Militare ha prima costruito una rete trigonometrica di I ordine (i lavori furono iniziati nel 1862 e completati nel 1869) con una tolleranza nelle misure angolari di circa 6 decimi di secondo. A partire dai punti (più precisi, misurati con gli strumenti migliori dalle squadre migliori) della rete di I ordine, furono poi rilevate le misure relative ai vertici della rete di II ordine (punti più fitti, e quindi più numerosi, e necessariamente acquisiti con minori vincoli di precisione), poi quelle relative alla rete di III ordine e di IV ordine (raggiungendo un numero massimo di circa 30.000 punti, di cui 31 misurati astronomicamente (punti di Laplace), e che oggi sono diventati circa 20.000)

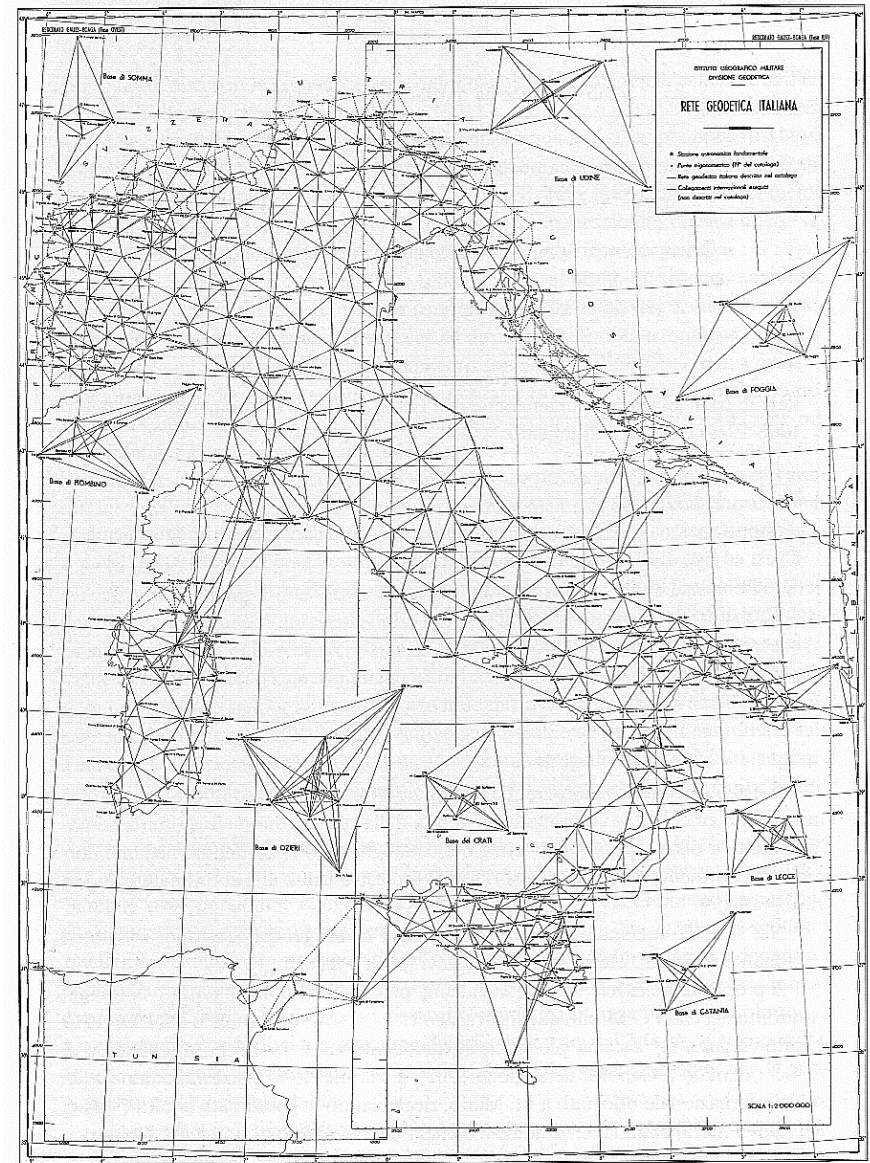


Riepilogo: Datum o Sistema di Riferimento

- 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.
- Nel caso non si abbia un ellissoide geocentrico, l'ellissoide sarà orientato rispetto al geoide definendo per un punto specifico (il centro di emanazione) sei parametri fondamentali: **latitudine** e **longitudine** ellissoidica, **altezza geoidica**, due componenti che definiscono la **deviazione tra la verticale ellissoidica e la verticale geoidica** (la direzione assunta dal filo a piombo) e l'angolo esistente tra una direzione individuata sia sull'ellissoide che sul geoide e il meridiano passante per il punto di emanazione per individuare l' **orientamento del nord ellissoidico** (asse di rotazione) rispetto al nord del geoide.
- La rete compensata di punti è la materializzazione del sistema di riferimento per le esigenze topografiche e cartografiche. Anche la operazione di compensazione contribuisce quindi a definire e caratterizzare il Sistema di Riferimento.

I punti geodetici

- Per ciascun punto appartenente alle reti trigonometriche viene resa disponibile una monografia che contiene tutti i riferimenti per una chiara individuazione del punto, oltre, naturalmente, alle sue coordinate.
- Oltre all'IGM, anche il Catasto e le Regioni gestiscono e mantengono delle reti di vertici geodetici necessari per le proprie esigenze di produzione cartografica.

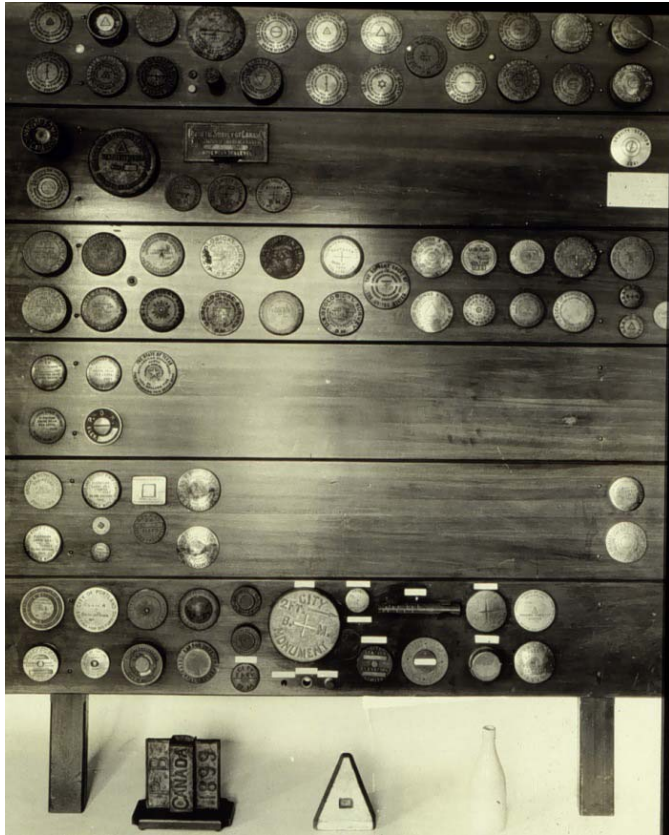


Monografia



FFFNNN	Comando Regione Militare XXXXXXXX		
	Staz. CC. XXXXXXXX		
	Comune XXXXXXXX	Prov. XXXXXXXX	
	Proprietario XXXXXXXX		
N°			
FFFNNN	MONOGRAFIA		
	(1954) Belvedere della cascina Asse geometrico del belvedere		
N°	Coordinate geografiche		Nome Cascina Bellina NNN
FFFNNN	φ 43°22'12",563	ω 1°12'43",932	
N°	Coordinate Gauss-Boaga		
FFFNNN	N 4812585.28	E 1877949.99	
	Ovest 4802874.39	Est 2411798.72	
N°	Quota al PP H = 228.43		
FFFNNN	PP = Gronda tetto belvedere		
N°			
FFFNNN			
	TRIG. Nome	Ord.	F°
	CASCINA BELLINA	IV	FFF ●
			NNN

Materializzazione di vertici geodetici



La materializzazione dei vertici geodetici (in siti panoramici e ben visibili), prima ancora di misurarne la posizione rispetto agli altri circostanti, non è sempre opera agevole!

Immagini
NOAA

Il Datum Nazionale o Roma 40

- Il sistema di riferimento Nazionale adotta l'ellissoide Internazionale o di Hayford ($a=6378388$, $f=1/297$), tangente al geoide (ondulazione tra geoide ed ellissoide = 0) in corrispondenza dell'osservatorio di Roma Monte Mario (coordinate determinate tramite misure astronomiche: $\varphi=41^{\circ}55'25.51''$ $\lambda=0^{\circ}$ ($12^{\circ}27'08.400''$ rispetto a Greenwich)), con verticale ellissoidica coincidente con quella geoidica, ed azimut su Monte Soratte $\alpha=6^{\circ}35'00.88''$, compensazione dei vertici trigonometrici italiani.

Il Datum Europeo o ED50

- Il sistema di riferimento ED50 adotta l'ellissoide Internazionale o di Hayford ($a=6378388$, $f=1/297$), ondulazioni tra geoide ed ellissoide e deviazioni tra la verticale geoidica e quella ellissoidica tali da risultare medie su tutto il territorio europeo, e pertanto orientamento debole in corrispondenza dell'osservatorio di Potsdam, compensazione dei vertici trigonometrici europei.

Compensazione ED50

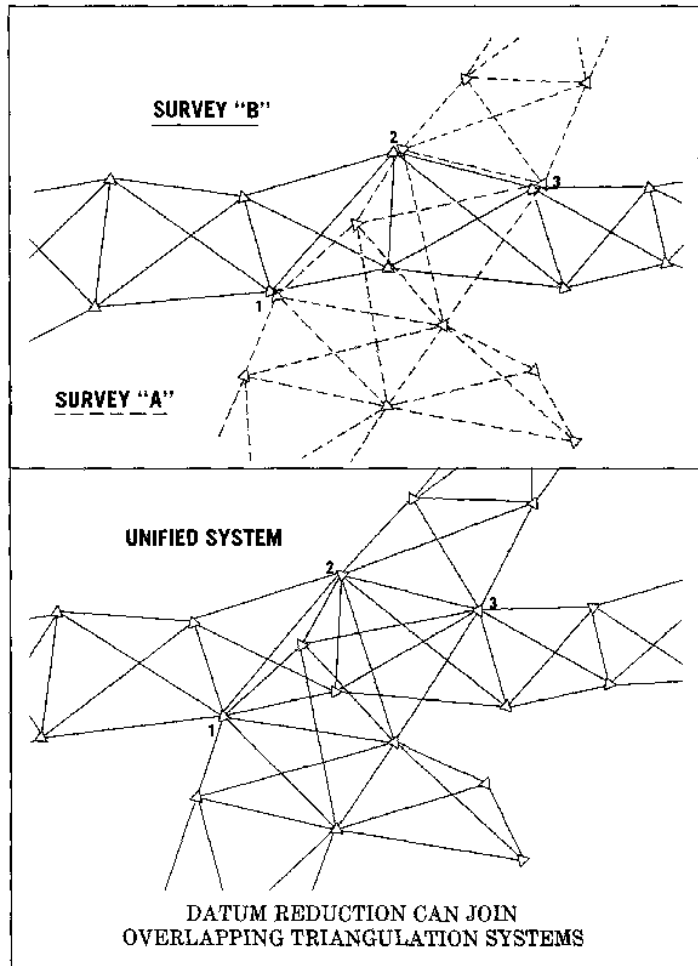
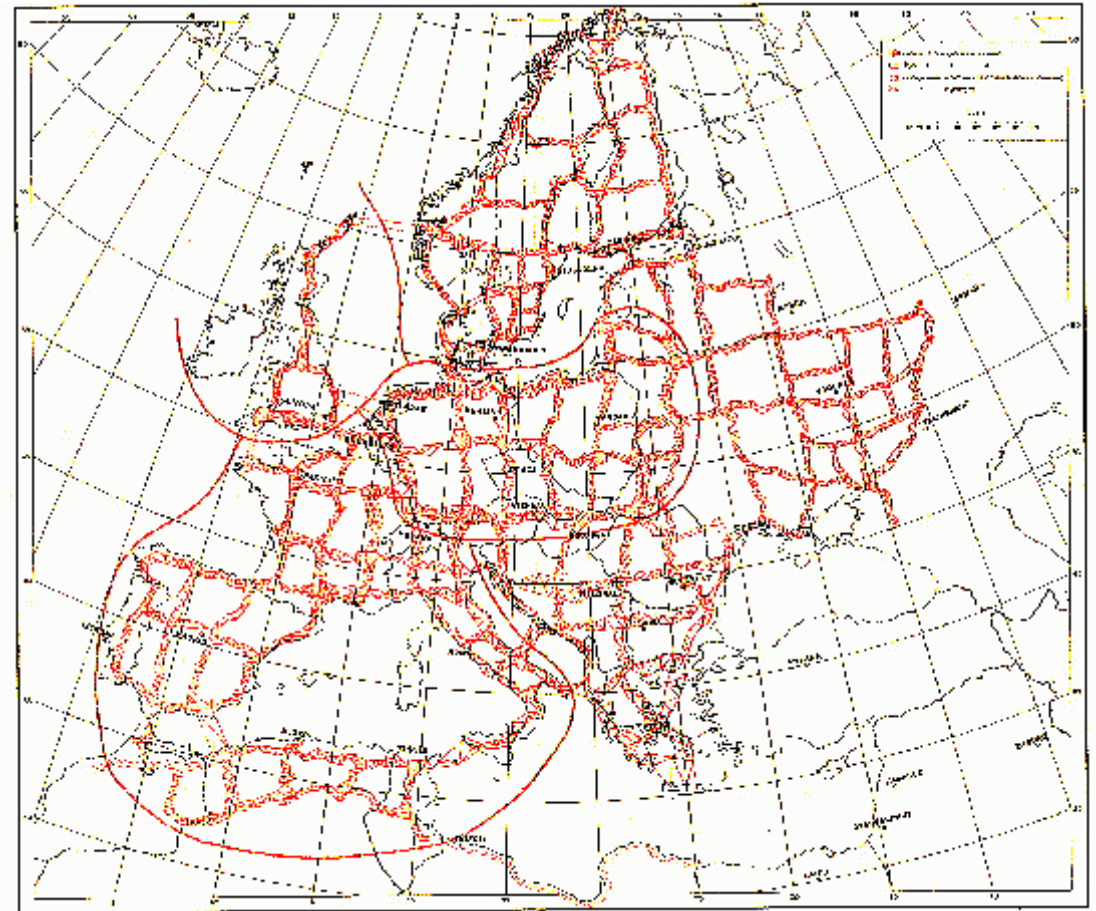


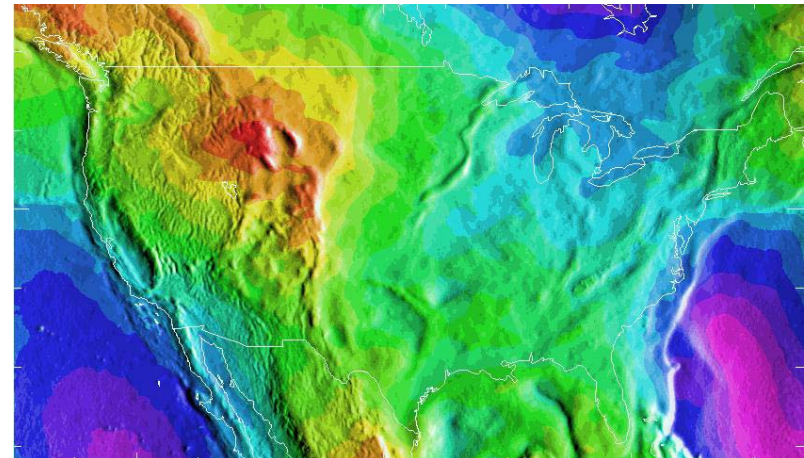
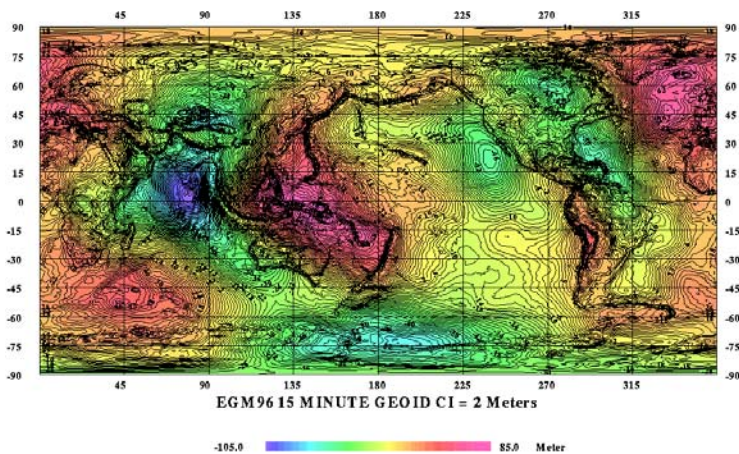
Figure 18



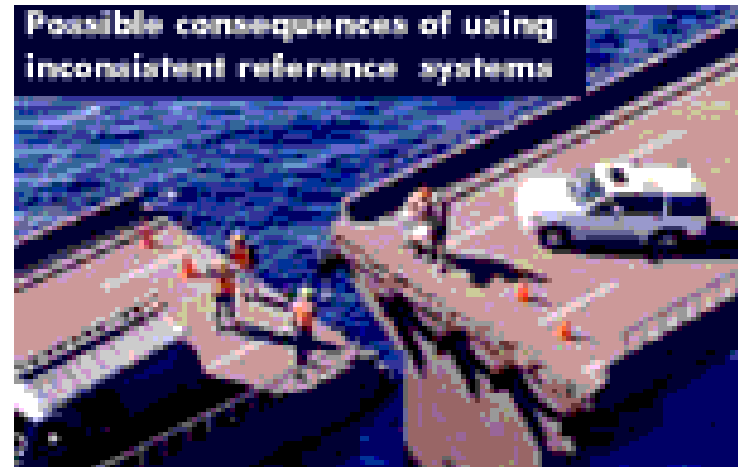
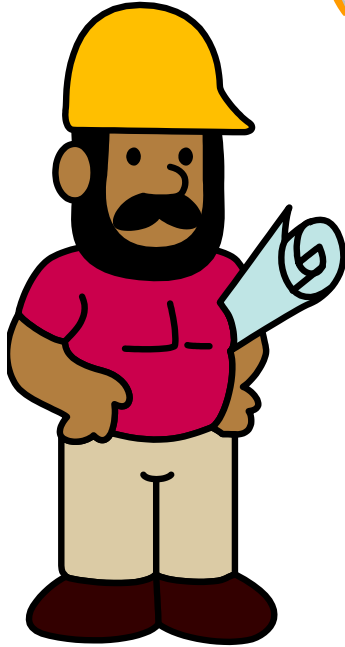
(Immagine IGM)

Il Datum Mondiale o WGS84

- Il sistema di riferimento WGS84 adotta l'ellissoide WGS84 ($a= 6378137$, $f= 1/298.3$), ondulazioni tra geoide ed ellissoide tali da risultare non trascurabili, da cui deriva la necessità di valutarle mediante misure gravimetriche, costruendo modelli come quelli sotto raffigurati:



Importanza di un utilizzo corretto delle coordinate (e dei sistemi di riferimento)



- Punti con le stesse coordinate in Datum diversi non necessariamente coincidono
- Lo stesso punto può avere coordinate diverse in Datum diversi.
- L'esigenza di adottare per tutto il pianeta un unico sistema di riferimento ha spinto l'esercito americano a definire il WGS84 e a costituire la rete di satelliti che lo implementa.

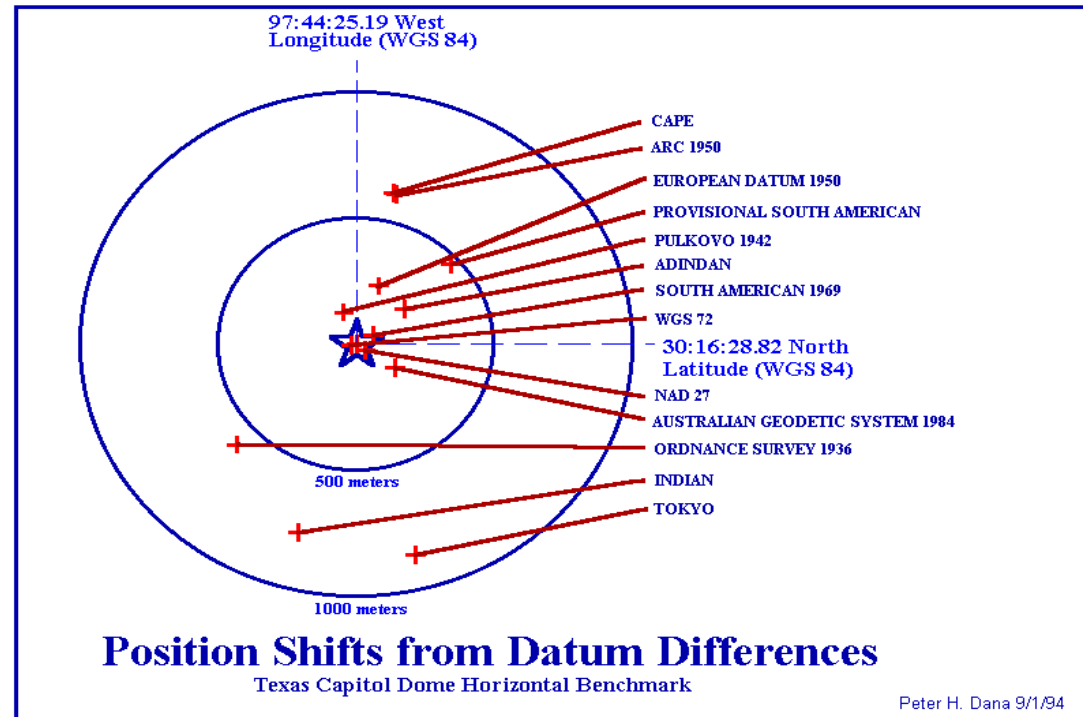
Datum differenti: implicazioni sulle coordinate

Coordinate di Roma Monte Mario

$$\text{Sistema Nazionale (Roma40)} : \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\text{Roma M Mario}} = 00^{\circ}00'00",0 \\ \lambda_{\text{Chocomaib}} = 12^{\circ}27'08",400 \\ \varphi_{\text{Equatoric}} = 41^{\circ}55'25",510 \\ E_{\text{OB-FO}} = 1786287.02 \\ N_{\text{OB-FO}} = 4647159.21 \end{array} \right.$$

$$\text{Sistema Europeo (ED50)} : \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\text{Chocomaib}} = 12^{\circ}27'10",933 \\ \varphi_{\text{Equatoric}} = 41^{\circ}55'31",487 \\ E_{\text{OB-FO}} = 1786287.56 \\ N_{\text{OB-FO}} = 4647160.04 \end{array} \right.$$

$$\text{Sistema Mondiale (WGS84)} : \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\text{Chocomaib}} = 12^{\circ}27'07",658 \\ \varphi_{\text{Equatoric}} = 41^{\circ}55'28",051 \\ E_{\text{OB-FO}} = 1786287.92 \\ N_{\text{OB-FO}} = 4647165.35 \end{array} \right.$$



Distanza apparente tra Roma M.M.(WGS84) e Roma M.M.(Roma40): 6.20 m

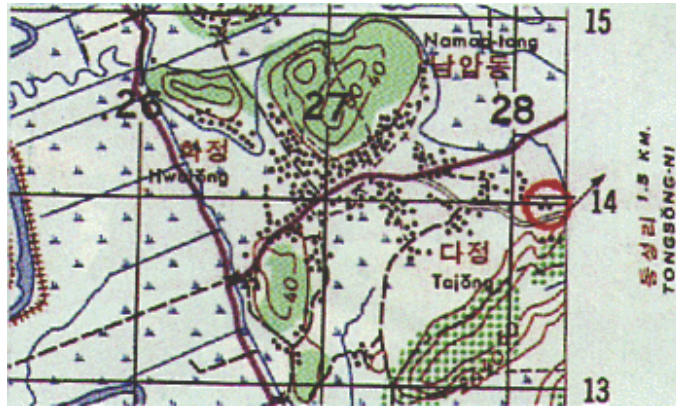
Distanza apparente tra Roma M.M.(ED50) e Roma M.M.(Roma40): 0.99 m

Distanza apparente tra Roma M.M.(ED50) e Roma M.M.(WGS84): 5.32 m

Cosa ci serve per fare la guerra?

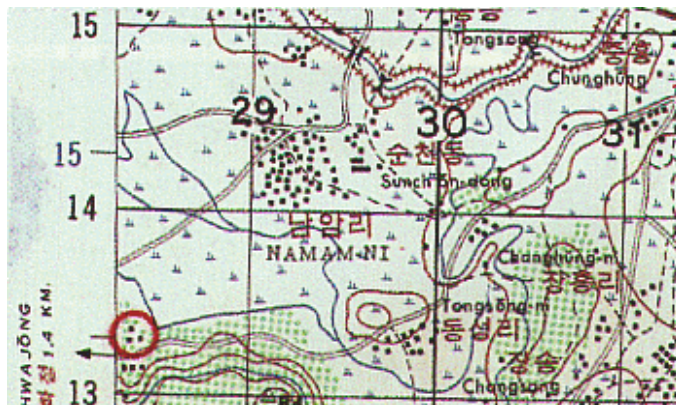
Un Datum

These Warfighters are
Ready for Combat...



Il punto evidenziato sulla mappa accanto (Datum WGS84) ha coordinate
51SXE28181402

Le due carte della Corea rappresentano lo stesso punto, cui attribuiscono differenti coordinate, con una apparente distanza di 729 metri



Il punto evidenziato sulla mappa accanto (Datum Tokyo) ha coordinate
51SXQ28341331

- ✓ Weapon
- ✓ Helmet
- ..and
- ✓ Ammo
- ✓ Water
- ✓ Datum

"O.K. - we know we need our gear, but what's a datum?
Why should we care?"

... o il GPS ! ...

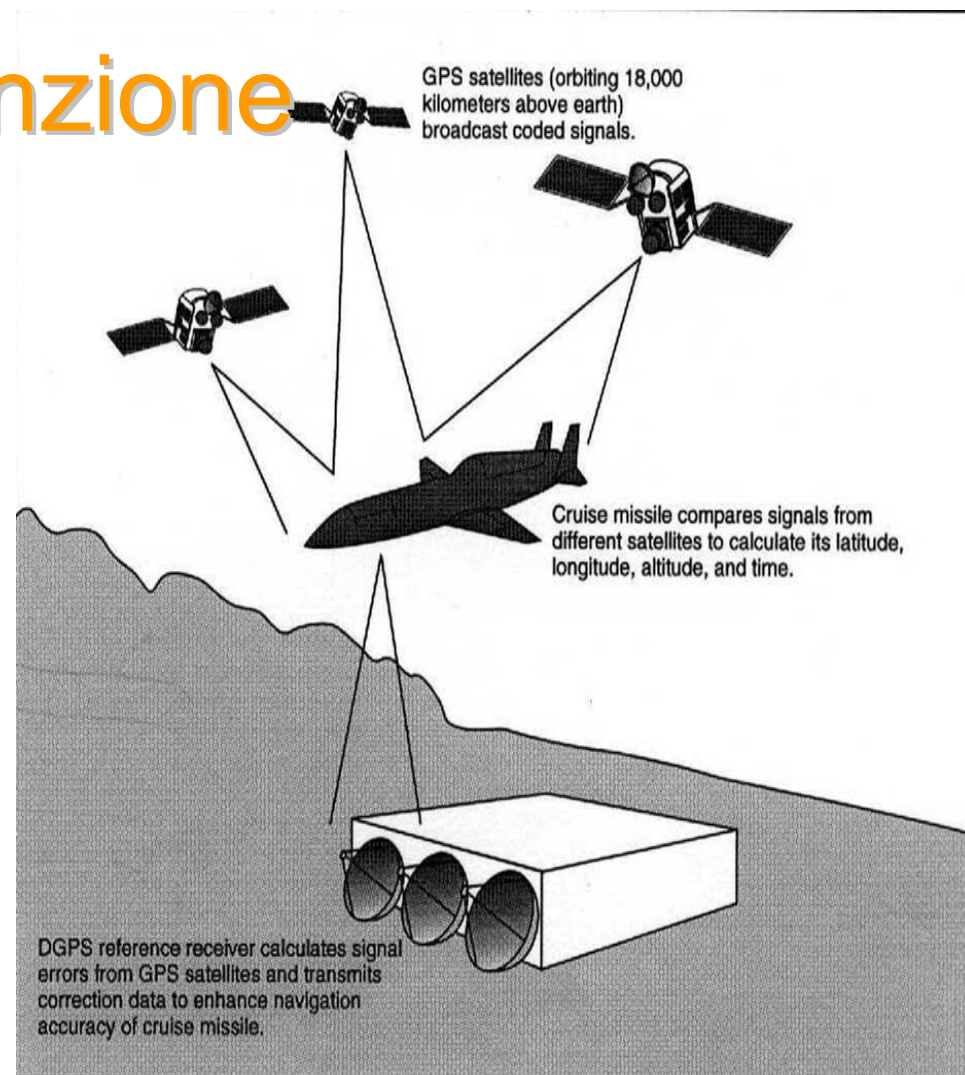
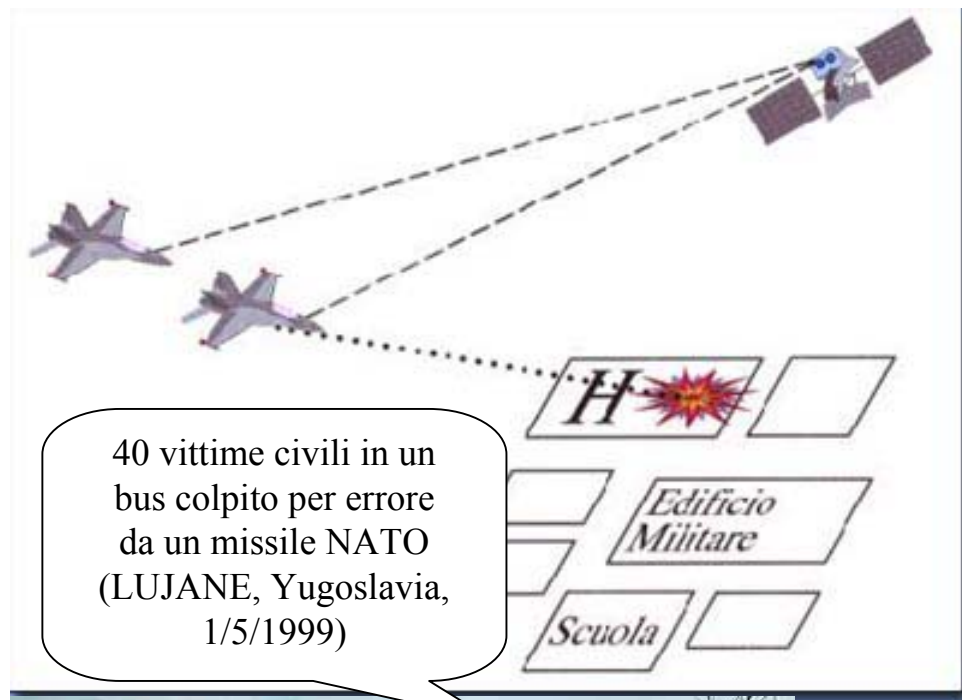
<http://164.214.2.59/GandG/datums/datum.htm>

.... If US forces go to a place where the maps are on some datum that the PLGR doesn't have, your command will get the figures for you to put in as the User Datum. Consult your GPS manuals to find out how to switch datums. But be careful; GPS coordinates are almost always more accurate than the ones you read off a map. The specification for the 1:50,000 Topo Line Map says objects are plotted on the sheet to within 50 meters of their true position. And you could add 50 more meters error just in reading the point. *That's why maps should never be used for very precise targeting!*

The bottom line is this: *In the past, we didn't worry much about datums because our weapons usually didn't need highly accurate positions. But nowadays, precise coordinates are vital for mission success. Ignoring the fine print in the margin of a map could get you killed!* **Find out what datum is on your map. Set your GPS receiver to read in that datum. Pass the datum along with the grid numbers when trasmitting your coordinates.**



... da usare con attenzione



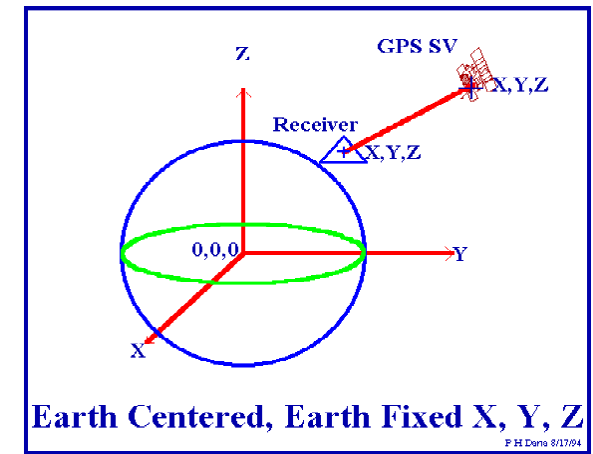
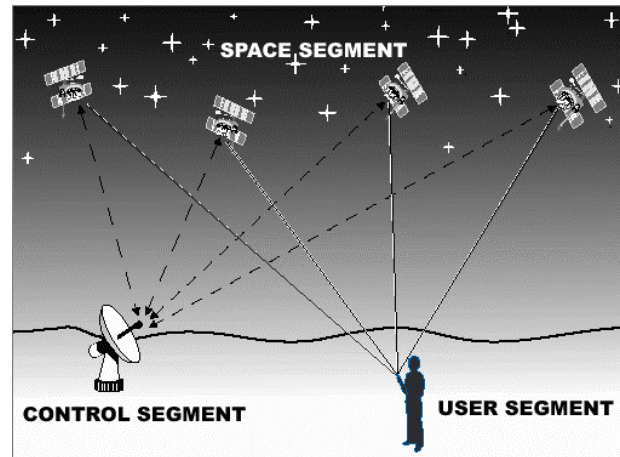
E' diventato impellente anche per i militari disporre di tecnologie efficaci ed affidabili!

GPS - Global Positioning System

Localizzazione di entità sulla superficie terrestre, facendo riferimento alla posizione di satelliti in orbita intorno alla Terra



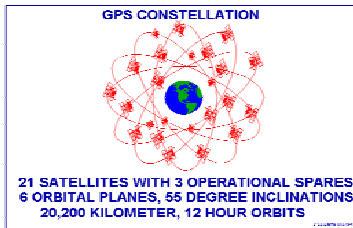
I segmenti del sistema GPS



Peter H. Dana 5/27/95

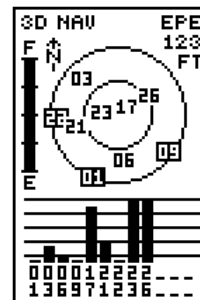


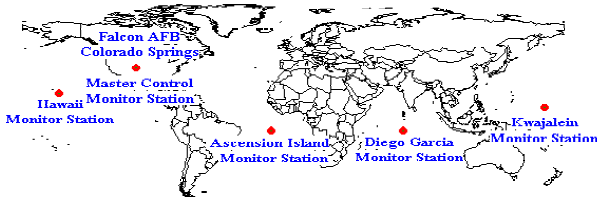
Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network



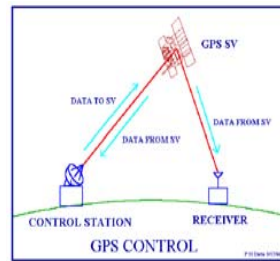
Il segmento “Space Vehicles”

Il segmento “Space” consiste di 24 satelliti disposti su sei piani orbitali inclinati di 55° , con orbite circolari di 20.200 Km di raggio, 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 qualsiasi parte del pianeta. I satelliti inviano continuamente i loro dati di “tempo” e di “posizione”, su due diverse bande di frequenze radio. I dati di “tempo” vengono forniti da orologi atomici a bordo del satellite (una inaccuratezza di 1 nanosecondo comporta errori nella valutazione della distanza di circa 30 cm: gli orologi atomici al cesio presenti sui satelliti accumulano un errore di un nanosecondo ogni 3 ore circa, necessitando di un continuo controllo e correzione). I dati di “posizione” si sostanziano in almanacchi di effemeridi, inviati da ciascun satellite, che consentono al ricevitore GPS di calcolare le coordinate di qualsiasi satellite in funzione dell’ora (da cui la necessità di una misurazione precisa ed affidabile del tempo).





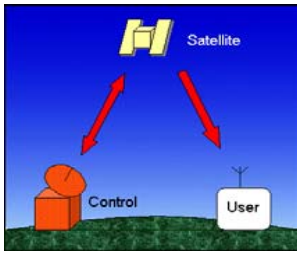
Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network



Il segmento “Control”

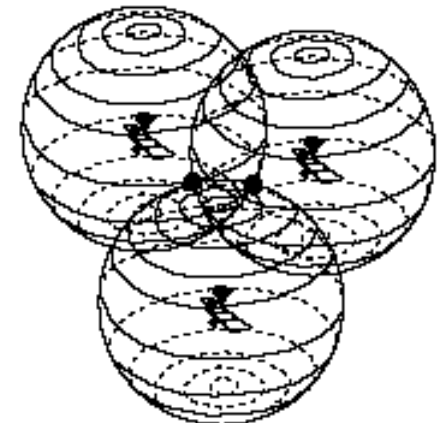
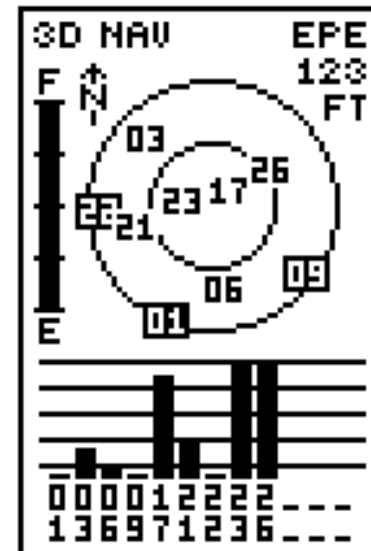
L'orbita di ogni satellite della costellazione viene continuamente verificata da opportune stazioni di controllo (segmento “Control”). I parametri orbitali (effemeridi) di tutti i satelliti vengono continuamente calcolati a Terra e inviati a bordo di ciascuno di essi in modo da poter essere trasmessi agli utenti con il messaggio di navigazione emesso con il segnale GPS. Il ricevitore, mediante questi dati, calcola la posizione stimata di ognuno dei satelliti utilizzati per calcolare la propria posizione. Il modello matematico utilizzato è la miglior approssimazione dell'orbita reale, di cui descrive un breve segmento, permettendo addirittura una localizzazione del satellite precisa entro 1,5 metri. I parametri correttivi, che tengono conto della non sfericità della Terra e della rotazione del piano orbitale, rimangono validi per circa un'ora.

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 Stations) sono installate presso le isole Hawaii (Oceano Pacifico), l'isola di Ascension (Oceano Atlantico), la base di Diego Garcia (Oceano Indiano), e l'atollo di Kwajalein (Oceano Pacifico), in modo da garantire che ogni satellite sia “visibile” da almeno una MS in ogni momento. Le stazioni secondarie controllano continuamente i satelliti in orbita, inviando i dati alla MCS in Colorado che provvede ad elaborarli per garantire l'aggiornamento giornaliero dell'almanacco, la correzione giornaliera del tempo GPS con quello UTC (secondo i dati forniti dall'osservatorio navale degli stati uniti) e l'elaborazione dei modelli di propagazione ionosferica. I dati così elaborati vengono ritrasmessi ai satelliti grazie alle antenne di up-link disponibili presso la MCS.



Il segmento "User"

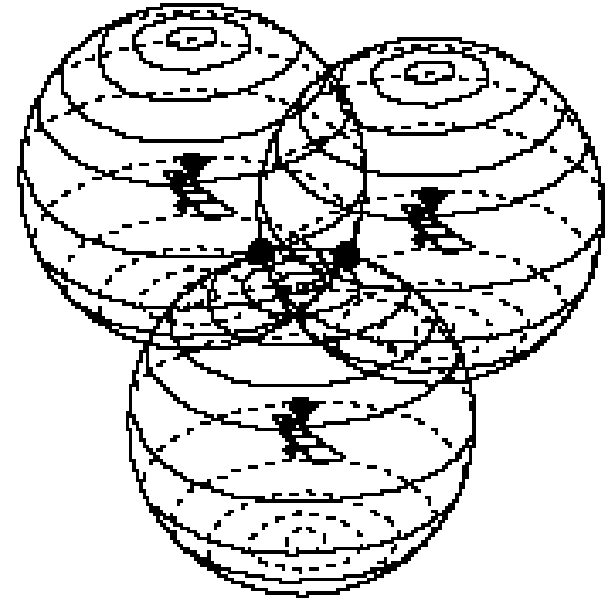
Il segmento "User" si identifica con il ricevitore GPS. Anche il ricevitore GPS è dotato di un orologio (non atomico ma al quarzo!), che, come vedremo successivamente, viene costantemente corretto sulla base dei dati ricevuti dai satelliti, fornendo sempre, quindi, l' "ora esatta". Sulla base dei dati di "tempo" e delle "effemeridi" il ricevitore riesce a calcolare la posizione dei satelliti in un sistema di riferimento cartesiano geocentrico e solidale con la Terra (chiamato ECEF - Earth Centered, Earth Fixed). Parimenti, valutando il ritardo con cui riceve i dati di ciascuno dei satelliti "visibili", il ricevitore è in grado di calcolare la distanza esistente tra lui e i vari satelliti. In pratica, la posizione del ricevitore si ricava operando l'intersezione tra le sfere centrate nei vari satelliti ed aventi raggi uguali alle diverse distanze dal GPS. Per una corretta localizzazione occorrono almeno 4 satelliti "visibili".



GPS – funzionamento

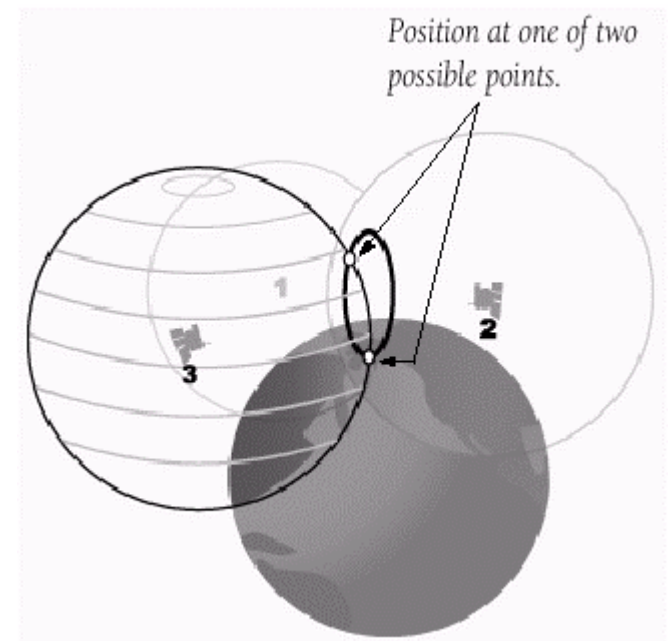
Il principio di funzionamento del GPS è sostanzialmente semplice: si tratta di determinare la distanza da tre satelliti S1, S2, S3, la cui posizione nello spazio è nota con precisione, e mediante opportuni passaggi matematici, determinare la propria posizione. Infatti, la distanza **d1** dal primo satellite individua la posizione del ricevitore sulla superficie di una sfera **R1** centrata sul satellite stesso.

La determinazione della seconda distanza, **d2**, ci posiziona sul cerchio intersezione delle due sfere **R1** ed **R2**. Infine, la terza distanza **d3** ci permette di determinare due posizioni nell'intersezione del cerchio con la sfera **R3** centrata sul terzo satellite. Delle due soluzioni viene considerata quella vicina alla superficie terrestre. La posizione così ottenuta è una posizione relativa allo spazio individuato dai tre satelliti e riferita ad un sistema di coordinate denominato ECEF (Earth Centered, Earth Fixed). Per avere un riferimento di posizione più convenzionale, altitudine sul livello del mare e coordinate geografiche relative all'elissoide di riferimento ottimale per la zona del globo in cui ci si trova, il ricevitore dovrà effettuare opportune conversioni di coordinate.



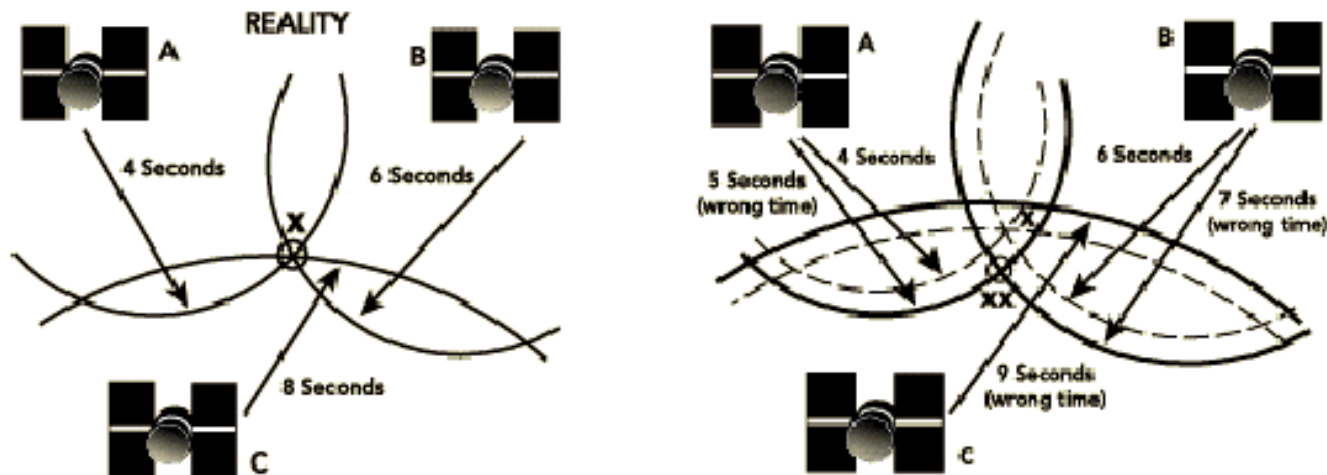
GPS – funzionamento II

La distanza viene determinata misurando lo scarto temporale che intercorre tra la trasmissione di una sequenza di bit inviata a Terra da ciascun satellite (trasmissione unidirezionale, tempi misurati da orologi atomici controllati e sincronizzati tra loro dalla MCS). Per utilizzare tale sistema in maniera unidirezionale è necessario sapere con precisione l'istante di tempo in cui il codice viene trasmesso e misurare l'istante d'arrivo del segnale al ricevitore mediante l'uso di orologi esattamente sincronizzati. Tale metodo richiede la presenza, sia a bordo del satellite, sia nel ricevitore, di due orologi atomici sincronizzati. Ovvio che un ricevitore GPS non può avere con se un orologio atomico, ed a questo scopo viene in aiuto l'algebra: se invece di tre equazioni in tre incognite (le coordinate X, Y e Z della nostra posizione) usiamo 4 equazioni (e quindi i segnali ricevuti da 4 satelliti), introducendo così una quarta incognita (il tempo), dal sistema così ottenuto ricaviamo 3 pseudo distanze ('pseudo-ranges'), e un quarto valore, che indica di quanto il nostro orologio, che ora può essere basato su un semplice oscillatore al quarzo, deriva rispetto a quelli di riferimento dei satelliti nello spazio.



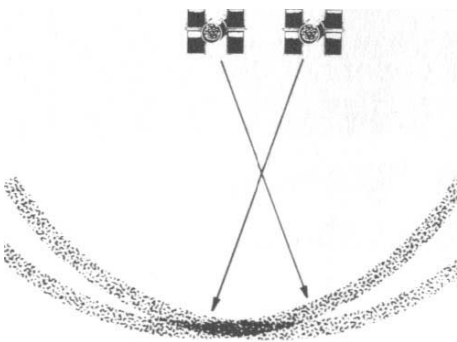
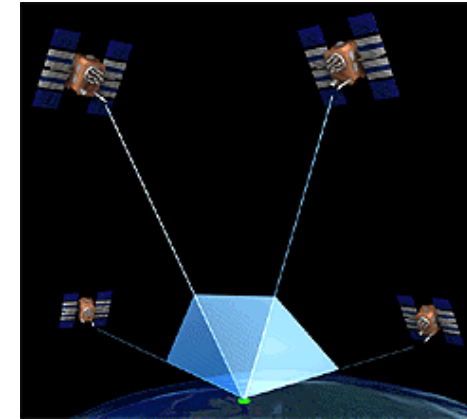
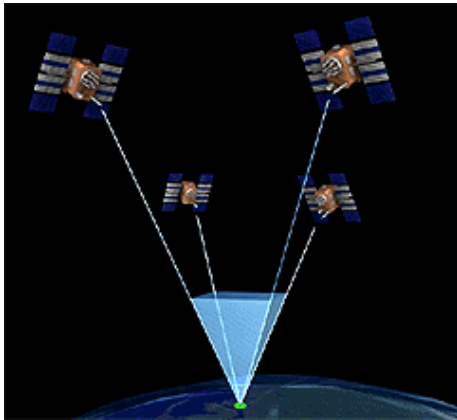
GPS – funzionamento III

Le misure di distanza dai satelliti vengono definite pseudo-distanze poichè affette dall'errore di misura dovuto alla imprecisione dell'orologio del ricevitore. Delle 4 soluzioni, 3 definiscono la posizione desiderata, mentre la 4 fornisce un'indicazione dell'errore compiuto dal nostro orologio rispetto a quelli tra loro sincronizzati dei satelliti. Da tutto ciò si evince la necessità di poter ricevere almeno 4 satelliti per determinare correttamente la posizione del ricevitore nello spazio. A priori, conoscendo, per esempio, la propria altitudine, è anche possibile rinunciare alla visibilità di un quarto satellite (applicazioni navali), inserendo direttamente il valore noto nelle equazioni. E' inoltre desiderabile effettuare le misure contemporaneamente, in modo che la deriva a breve termine del nostro orologio influisca in egual misura sui dati rilevati.



GPS – funzionamento IV

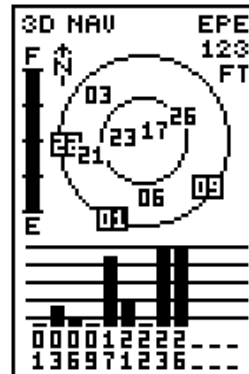
La precisione della localizzazione che si ottiene elaborando i dati ricevuti dai satelliti è legata anche alla loro posizione rispetto al ricevitore GPS: più sono lontani dalla verticale passante per il ricevitore, migliore sarà la precisione ottenuta (si indica come minore, o migliore, Geometric Dilution Of Precision (**GDOP**)). Sul GPS si può valutare il GDOP sulla base quanti satelliti ricadono nella corona più esterna (immaginiamo due coni, di diversa ampiezza, con il vertice in corrispondenza del ricevitore).



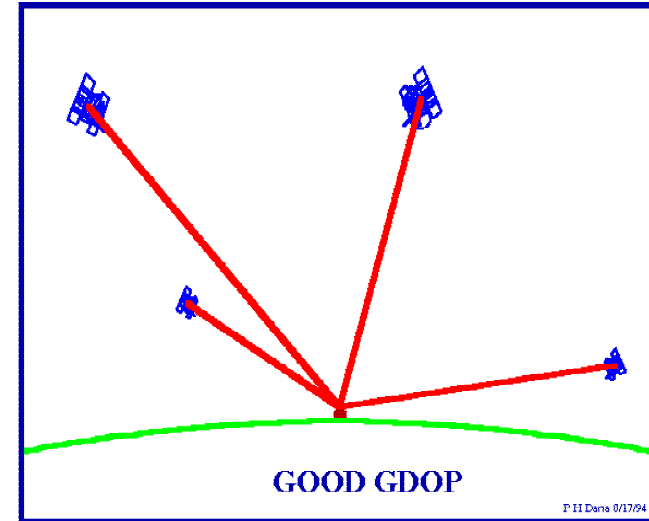
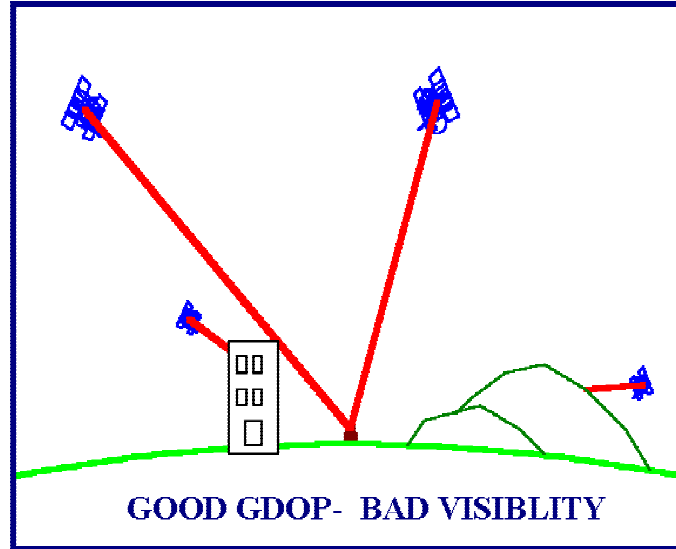
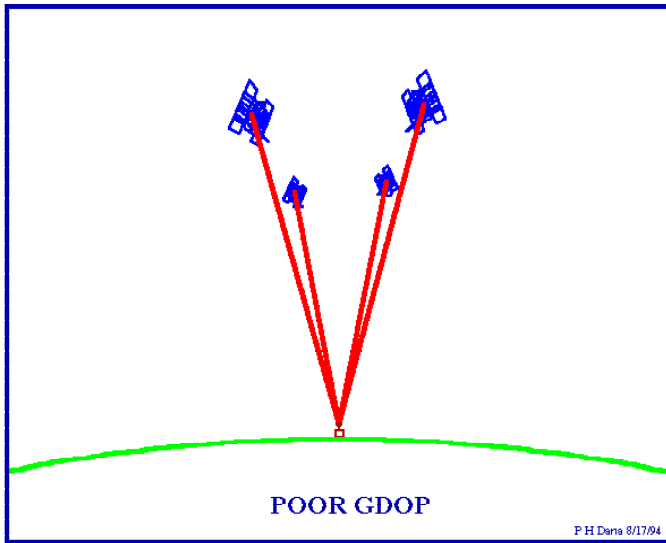
At close angles
the box gets bigger



We're
somewhere
in this box.



GDOP



GPS – funzionamento V

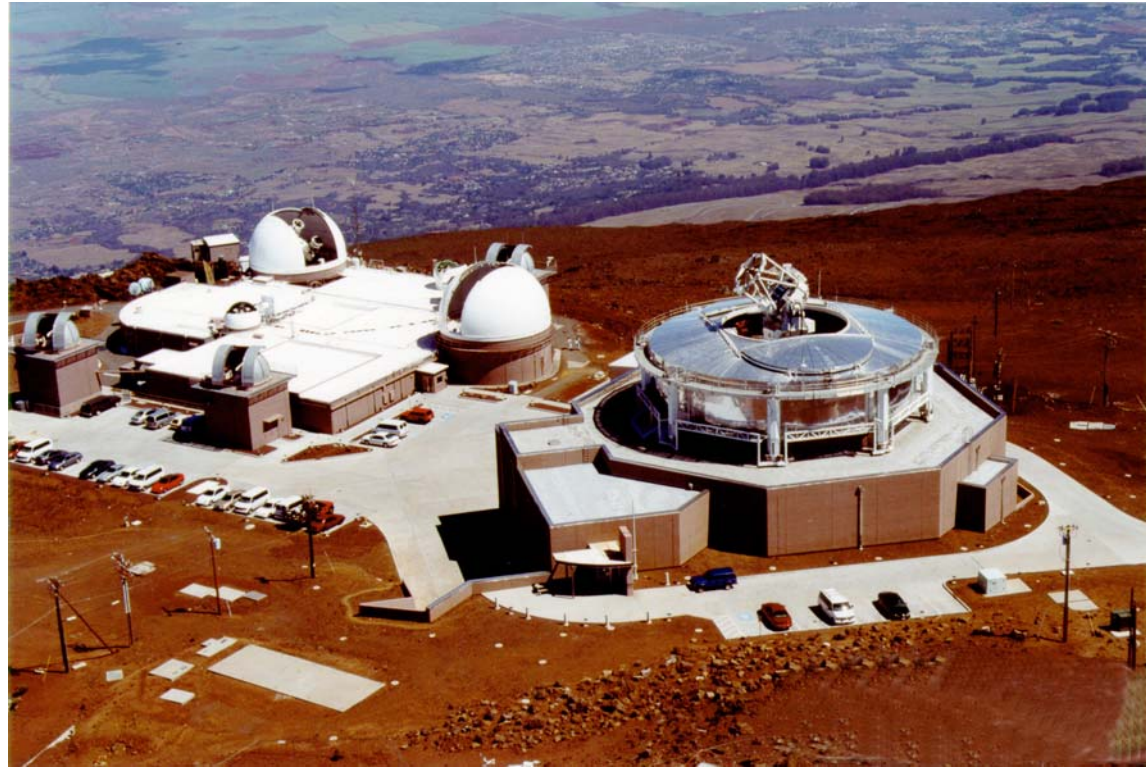
I satelliti GPS inviano i loro segnali sotto forma di pacchetti di dati su due canali radio (L1 di frequenza 1575.42 MHz e L2 di frequenza 1227.60 MHz). I due tipi di dati inviati, chiamati Codice C/A (Coarse Acquisition, sul canale L1) e Codice P (Precision, su entrambi i canali L1 e L2), contengono rispettivamente informazioni immediatamente fruibili da tutti i GPS, ed informazioni in parte utilizzabili solo da particolari apparecchi GPS militari, dotati di apposite EPROM contenenti delle chiavi SW per la decrittografia di quanto ricevuto. La precisione con cui si può valutare la propria posizione anche solo con il codice C/A (circa 20-30 metri) indusse i militari americani ad introdurre errori pseudocasuali per degradare i dati di tempo e le effemeridi inviate dai satelliti. In tal modo dal 1990, e fino al 1/5/2000, tale degradazione dei dati inviati (chiamata Selective Availability) ha comportato precisioni dell'ordine dei 70-90 metri. Oggi, senza tale degradazione, la qualità della localizzazione dipende solo dalla posizione dei satelliti (GDOP), da eventuali ostacoli (monti, palazzi, ecc.) che provocano rimbalzi (Multipath), dagli strati della ionosfera e della troposfera: un normale GPS può consentire localizzazioni con precisioni dagli 8 ai 20 metri nel 95% delle misurazioni.

L'abolizione della Selective Availability è legata anche all'introduzione dell'uso dei GPS differenziali che, in barba alle aspettative di chi l'aveva introdotta, consentono precisioni anche dell'ordine dei centimetri!

Source	Uncorrected	With Differential
Ionosphere	0-30 meters	Mostly Removed
Troposphere	0-30 meters	All Removed
Signal Noise	0-10 meters	All Removed
Ephemeris Data	1-5 meters	All Removed
Clock Drift	0-1.5 meters	All Removed
Multipath	0-1 meters	Not Removed
SA	0-70 meters	All Removed

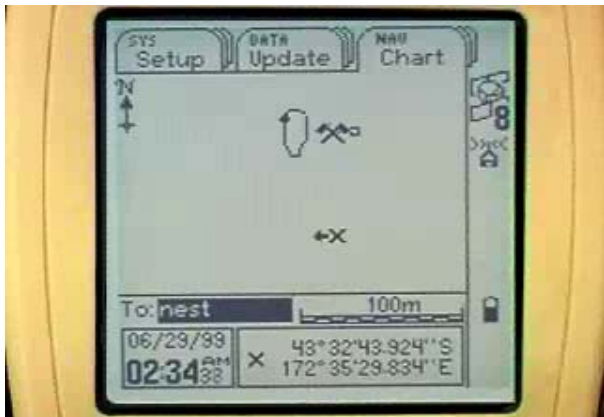
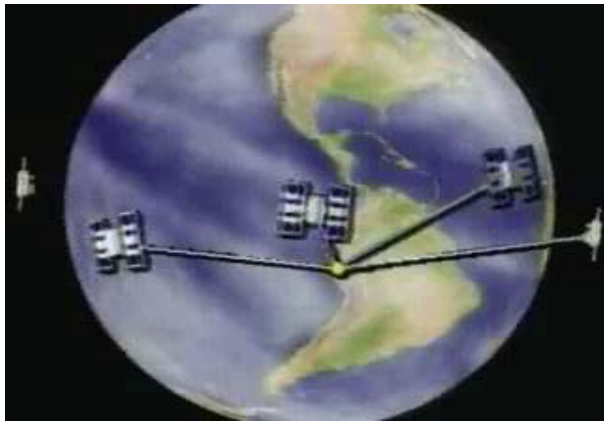


MCS Colorado Springs



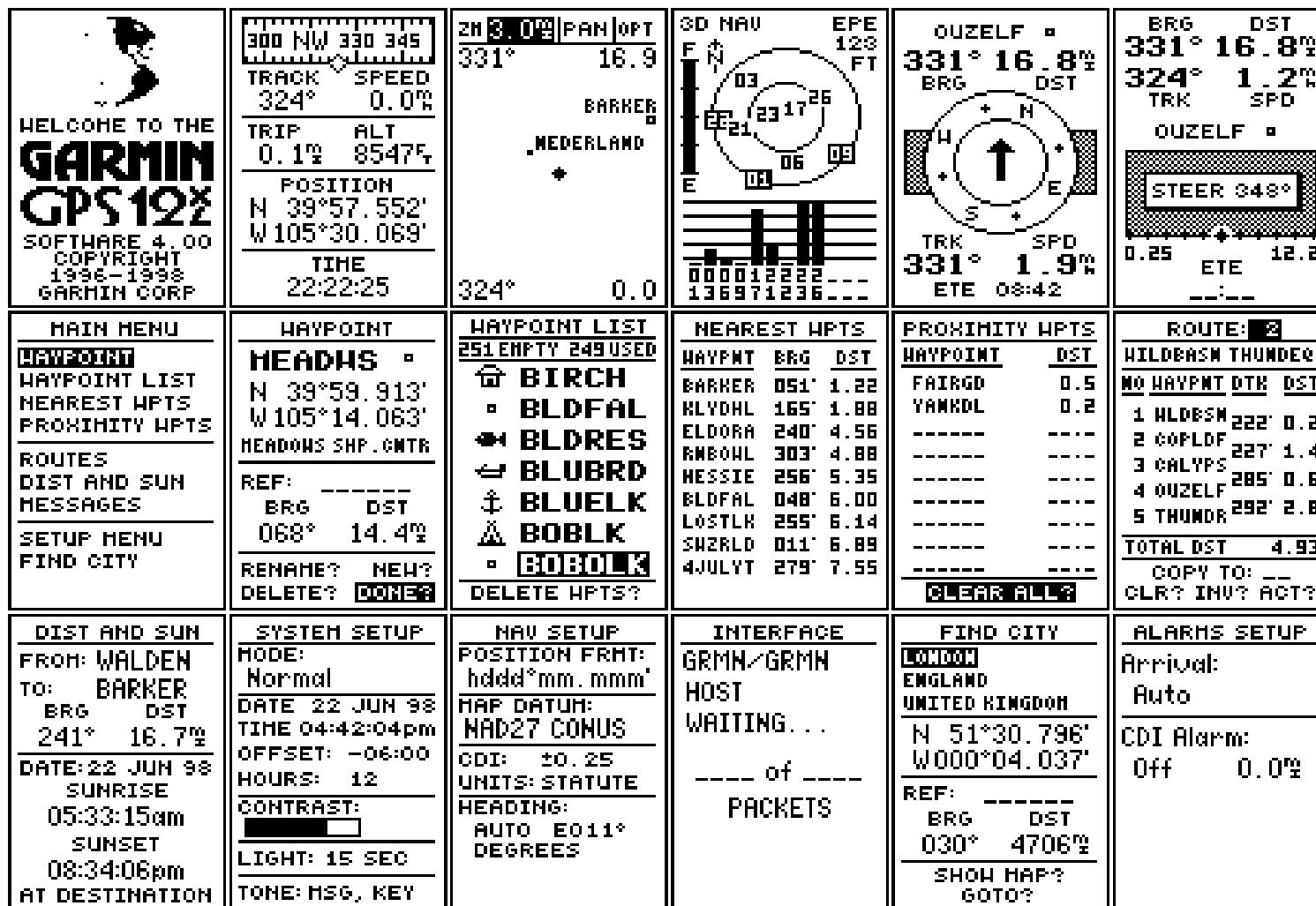
GPS Control Station delle Hawaii³

GPS - uso



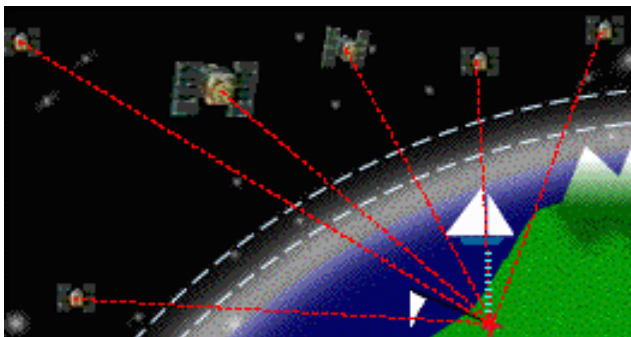
La biologa della foto accanto sta acquisendo la posizione di nidi di tartarughe acquatiche. A tale scopo memorizza il punto di ciascun ritrovamento. In pratica, sulla base delle informazioni che il suo GPS riceve dai satelliti nello spazio, può memorizzare sull'apparecchio stesso le coordinate di ciascun punto, insieme ad un codice che le consenta poi di scaricare in un GIS i diversi punti e di collegarvi tutte gli altri dati raccolti a descrizione dei vari ritrovamenti. Attaccato alla cintura vediamo un apparecchio che, collegato al GPS, consente di aumentarne la precisione adottando la tecnica della correzione differenziale (cui accenneremo più avanti).

Schermate del Garmin 12 XL

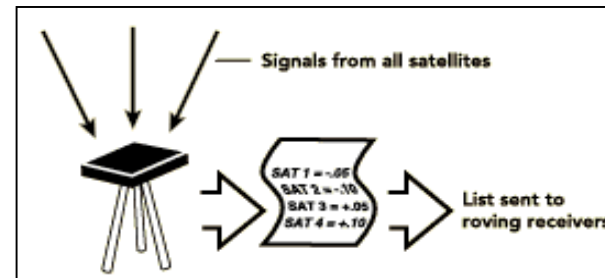
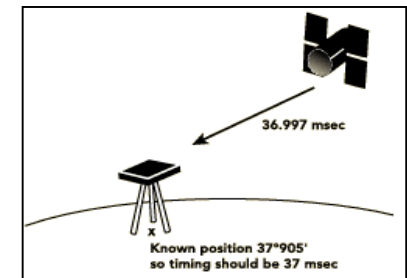
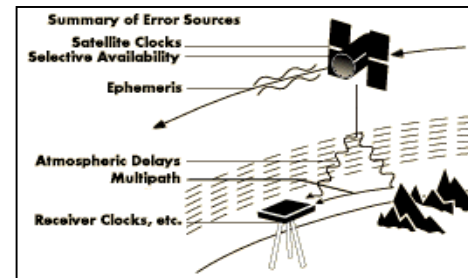


GPS differenziale I

Il concetto di fondo è che se noi abbiamo un GPS in una posizione di coordinate note, possiamo calcolare le correzioni da applicare ai dati ricevuti per ottenere dalla loro elaborazione coordinate identiche a quelle che sappiamo di avere. Dopodichè possiamo comunicare via radio tali correzioni ad un altro GPS (in grado di sfruttarle, cioè un DGPS), che a quel punto è in grado, applicandole, di conoscere la propria posizione con enorme precisione.



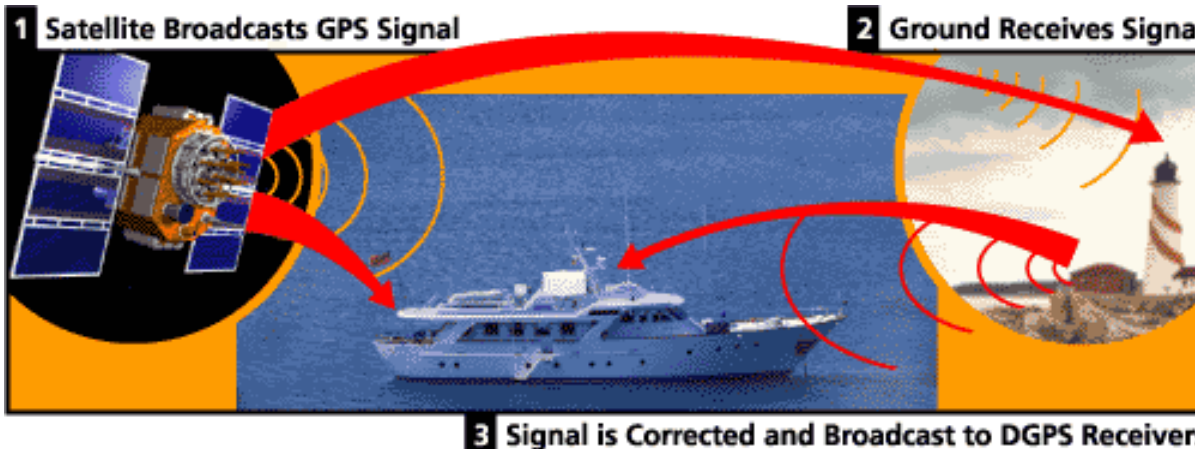
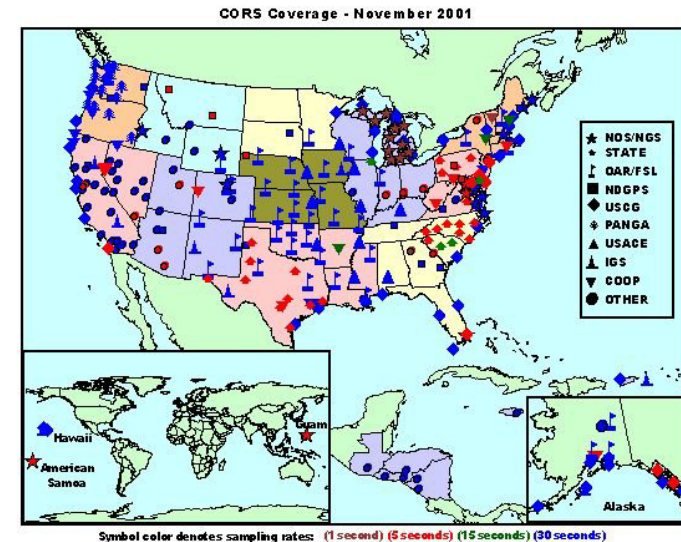
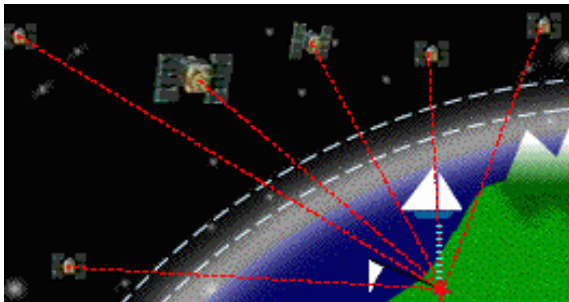
Abbiamo visto che per superare gli effetti prodotti dalla SA, voluta dall'US Army per impedire ai civili la disponibilità di una tecnologia che consentisse localizzazioni con precisioni dell'ordine di 20-30 metri, i civili hanno elaborato la tecnica del GPS differenziale che consente il raggiungimento di precisioni dell'ordine dei centimetri!



GPS differenziale II



Le correzioni da applicarsi ai dati ricevuti dai satelliti possono essere inviate in tempo reale (via radio o tramite appositi satelliti) ad un altro ricevitore DGPS, che calcolerà dai dati e dalle correzioni ricevuti le corrette coordinate....

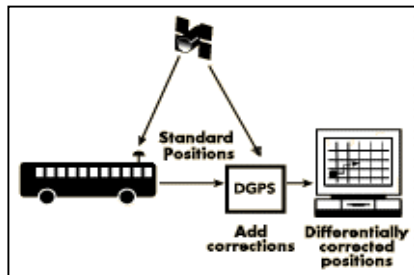
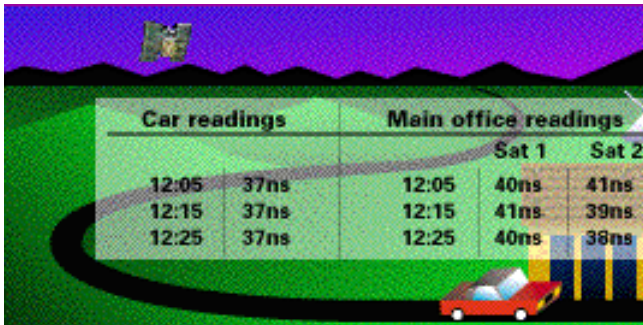


Postazioni che trasmettono in continuo, via radio, dati di correzione GPS

GPS differenziale III



... oppure le correzioni da applicarsi ai dati ricevuti dai satelliti possono essere memorizzate in locale. Tali correzioni saranno poi applicate ai dati GPS (non alle coordinate!) a loro volta memorizzati da un ricevitore che si è spostato sul territorio (es.: per il rilievo di entità, quali strade, ecc.), per calcolare “a posteriori” (post-processing) le coordinate corrette dei punti in cui il GPS aveva fatto “stazione”....



... Infine, le correzioni possono essere applicate in tempo reale ai dati che vengono trasmessi alla postazione di controllo dai GPS collocati su veicoli (es.: autobus), per conoscerne la esatta posizione. In tal caso è la centrale di controllo che disporrà delle posizioni corrette, e non i singoli autobus.

Arrivederci

