

Prima di cominciare: alcune definizioni

Cartografia. Insieme delle operazioni tecniche scientifiche e dimostrative atte a elaborare carte e a permetterne la lettura e l'uso.

Una carta è una rappresentazione piana, ridotta approssimata e simbolica della superficie terrestre.

Geodesia. Studio della forma e delle dimensioni della terra. Scelta dei modelli semplificati della terra. Valutazione degli scarti esistenti fra la forma approssimata e quella reale della terra.

Topografia. Localizzazione esatta di entità sulla superficie terrestre. Misurazione delle posizioni relative di entità sulla superficie terrestre.

Fotogrammetria. Localizzazione di entità sulla superficie terrestre facendo riferimento alla loro posizione rilevabile su immagini aerofotografiche.

Sistema di Riferimento - SR

Grafico cartesiano

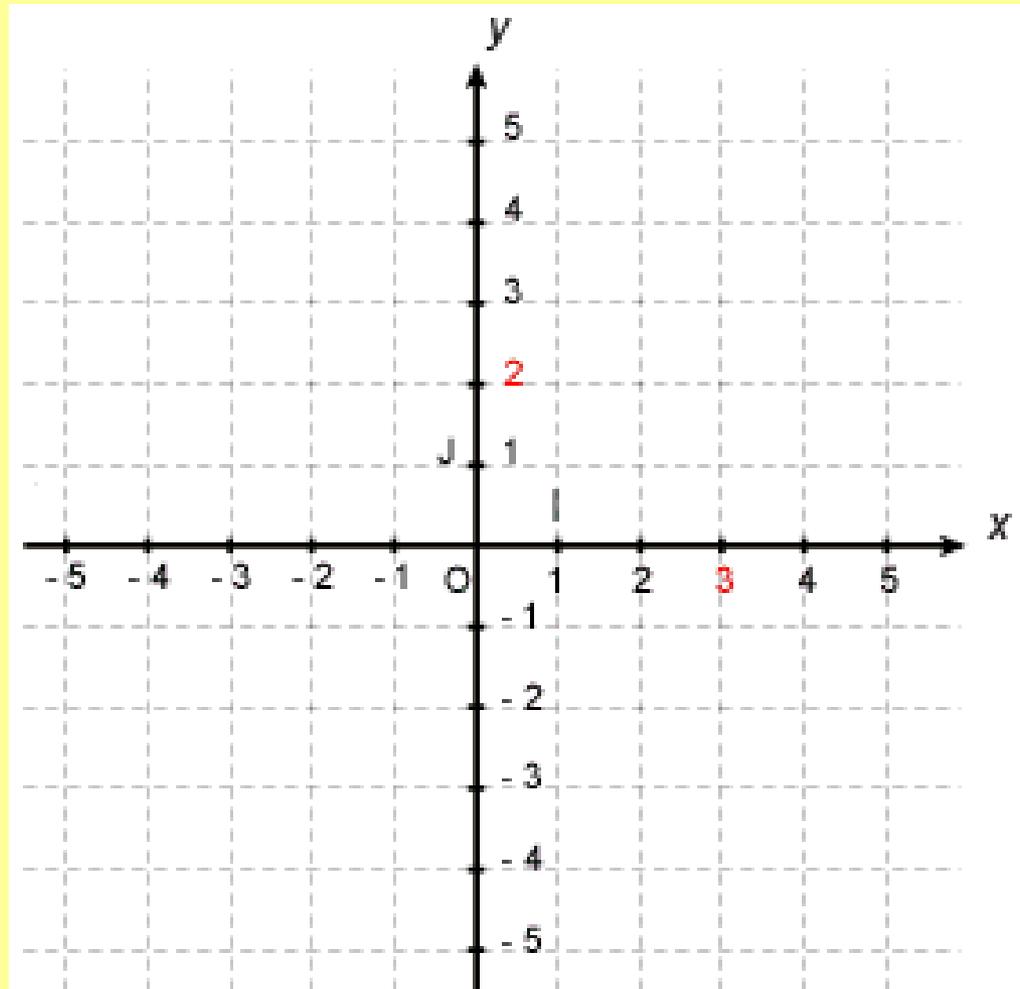


Figura 1

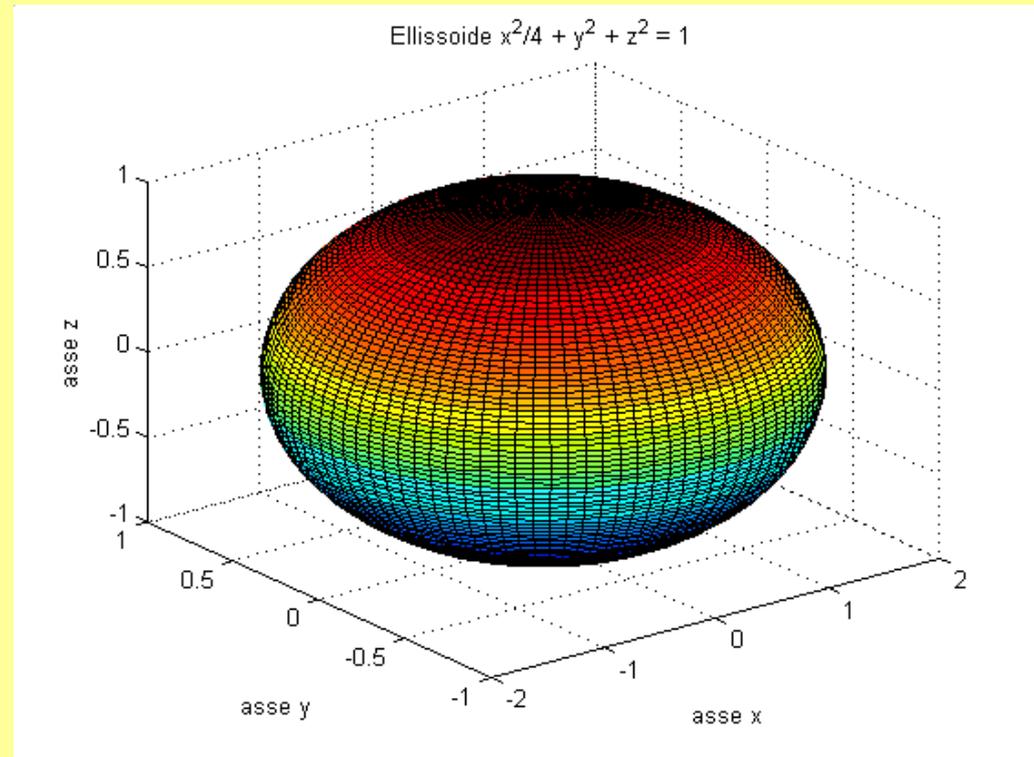
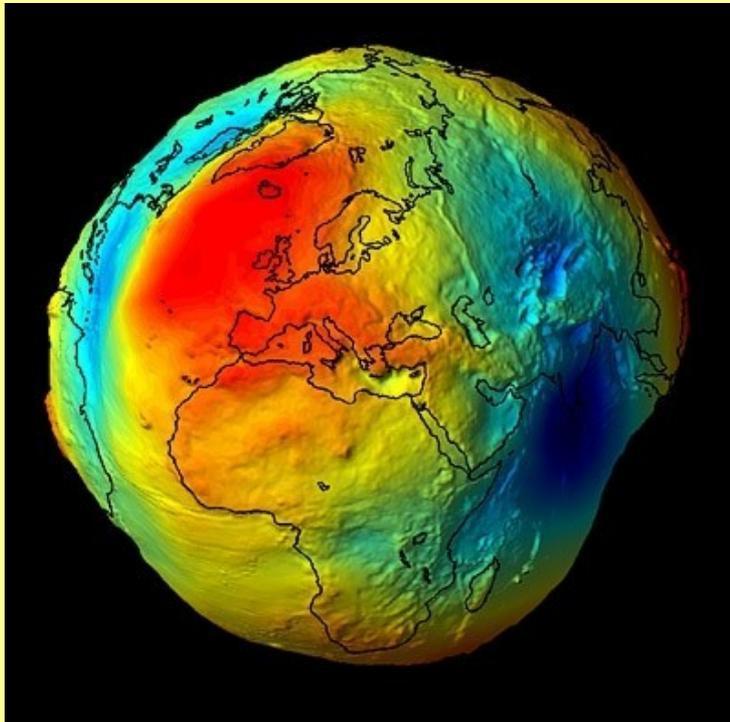
Sistema di Riferimento - SR

Si può definire come una **struttura** che permette di **esprimere in termini numerici la posizione** di punti della **superficie fisica della Terra**.

Si tratta di costruire quello che tecnicamente è conosciuto come **datum geodetico**.

L'operazione con cui si esprime la posizione di un punto o di un oggetto qualsiasi, mediante opportune coordinate in un assegnato datum, prende il nome di **georeferenziazione**.

Sistemi di riferimento - Datum



Sistemi di riferimento - Datum

- Geoide – modello fisico che approssima la forma della Terra.

La superficie del modello è equipotenziale (con la medesima forza gravitazionale)

- Elissoide – modello geometrico della Terra (così è possibile fissare su di esso un sistema di riferimento per localizzare i punti sul territorio)

Geoide/Elissoide

Il **geoide** è la forma che assumerebbe il livello del mare indisturbato attraversante i continenti.

E' una superficie equipotenziale in cui il piano tangente in ogni punto è perpendicolare alla direzione del filo a piombo in quel punto cioè alla verticale passante per quel punto.

Questa superficie è influenzata dalle variazioni di densità della Terra e generalmente si alza sopra i continenti per abbassarsi sugli oceani.

La topografia gravitazionale deve molto ai satelliti (cfr. GOCE).

Grazie ai rilevamenti satellitari, ci si è accorti che anche il mare presenta delle gobbe/avvallamenti dovuti alla presenza di montagne/fosse sottomarine.

Anche l'inarcamento delle sup. marina in prossimità di fosse sottomarine è stata spiegata dalla struttura del fondo (rocce pressate e pesanti)

L' **ellissoide** è la forma geometrica della Terra.

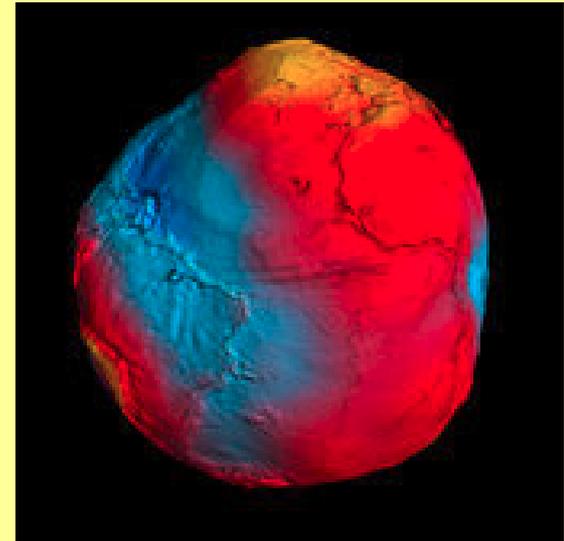
La Terra è schiacciata ai poli.

La differenza fra il raggio equatoriale e polare è pari a circa 21.5 km e dipende dall'ellissoide che viene considerato.

ESA's Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE)

GOCE è un satellite sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea per analizzare le variazioni del campo gravitazionale terrestre.

Lanciato nel 2009, è stato fatto rientrare nel 2013

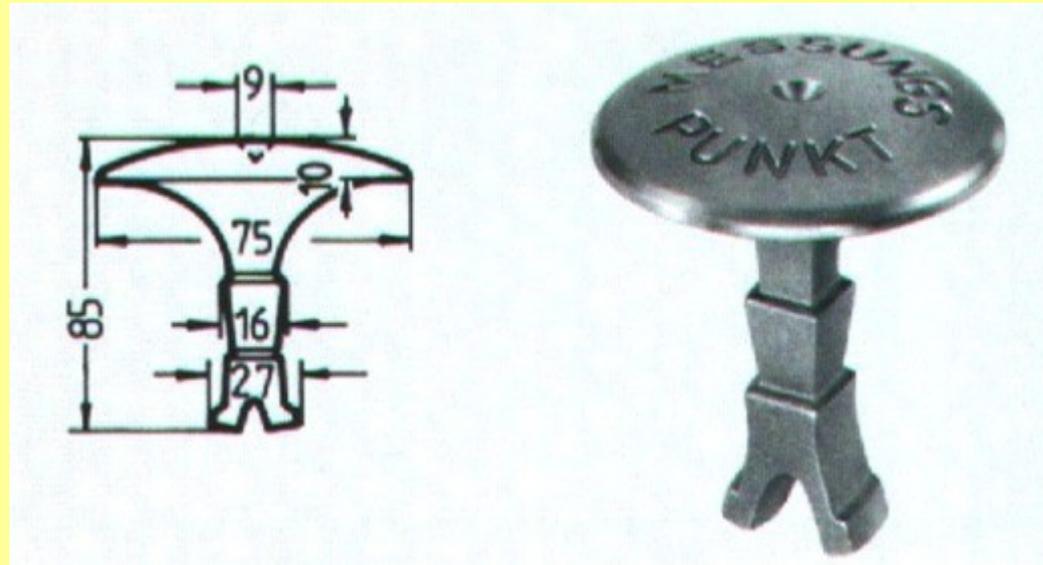


Datum geodetico

Si definisce **datum geodetico**, o semplicemente datum, un **sistema di riferimento** che permette di esprimere in termini numerici la **posizione** di punti della superficie fisica della Terra o prossimi ad essa.

E' possibile **definire** un datum geodetico in diversi modi. La definizione ha sempre carattere convenzionale, e nella pratica si ottiene mediante un insieme di **punti materializzati** (cioè **fisicamente realizzati**, ad es. mediante **piastre metalliche** fissate a **manufatti**) sulla superficie terrestre, ai quali vengono attribuiti determinati **valori delle coordinate**.

Tale operazione viene detta **realizzazione del datum**. In sostanza, un datum può essere definito teoricamente come si vuole, ma se lo si vuole utilizzare deve essere realizzato attraverso punti materializzati sul terreno e misure che permettano di determinare le coordinate di tali punti.



Realizzazione del datum

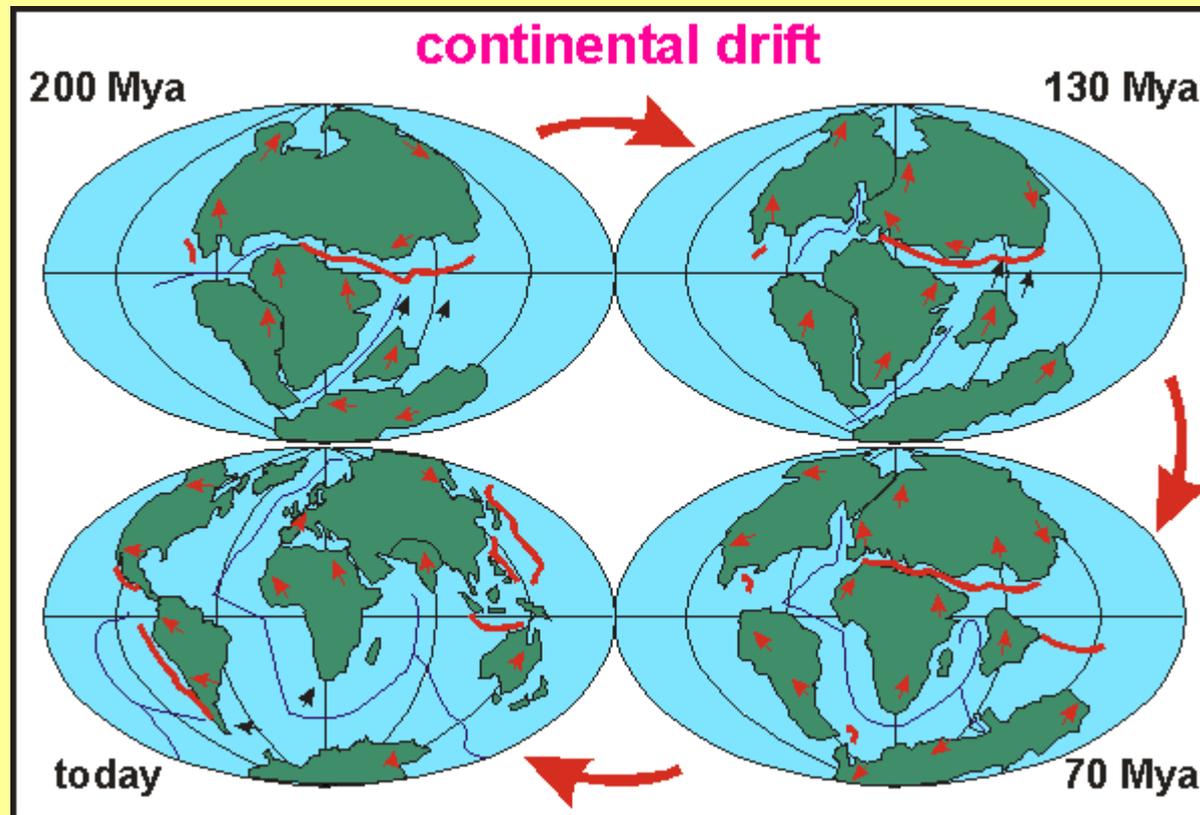


Materializzazione del punto "D"

Datum geodetico

Per le applicazioni geodetiche e cartografiche, compreso l'utilizzo del GPS, si impiegano **sistemi di riferimento solidali con la Terra (Earth-Fixed)**. In un sistema di questo tipo, le coordinate dei punti della superficie terrestre “non variano” nel tempo.

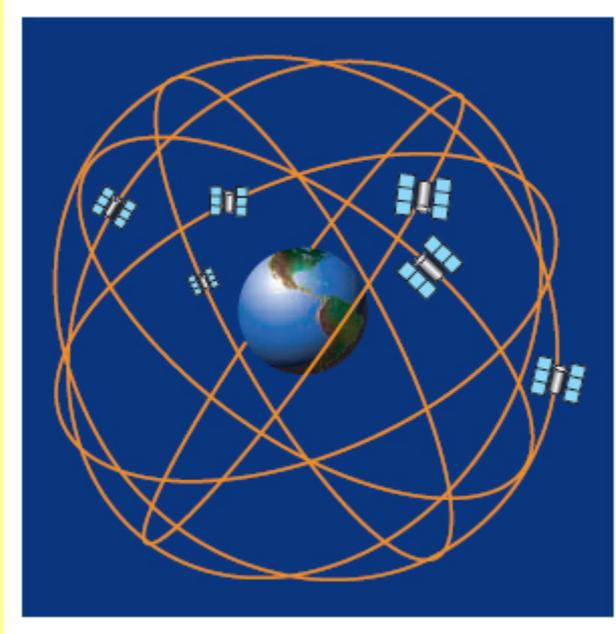
In realtà, le **coordinate variano nel tempo**, per effetto delle deformazioni della crosta terrestre - **deriva dei continenti**, fenomeni sismici, ecc. - ma lo fanno molto **lentamente**.



Datum geodetico

La definizione di datum geodetico è tridimensionale.

Nella **geodesia moderna**, basata sui **satelliti**, il datum viene utilizzato in modo **tridimensionale**, mediante le coordinate cartesiane geocentriche o le coordinate geografiche associate alla quota ellissoidica.

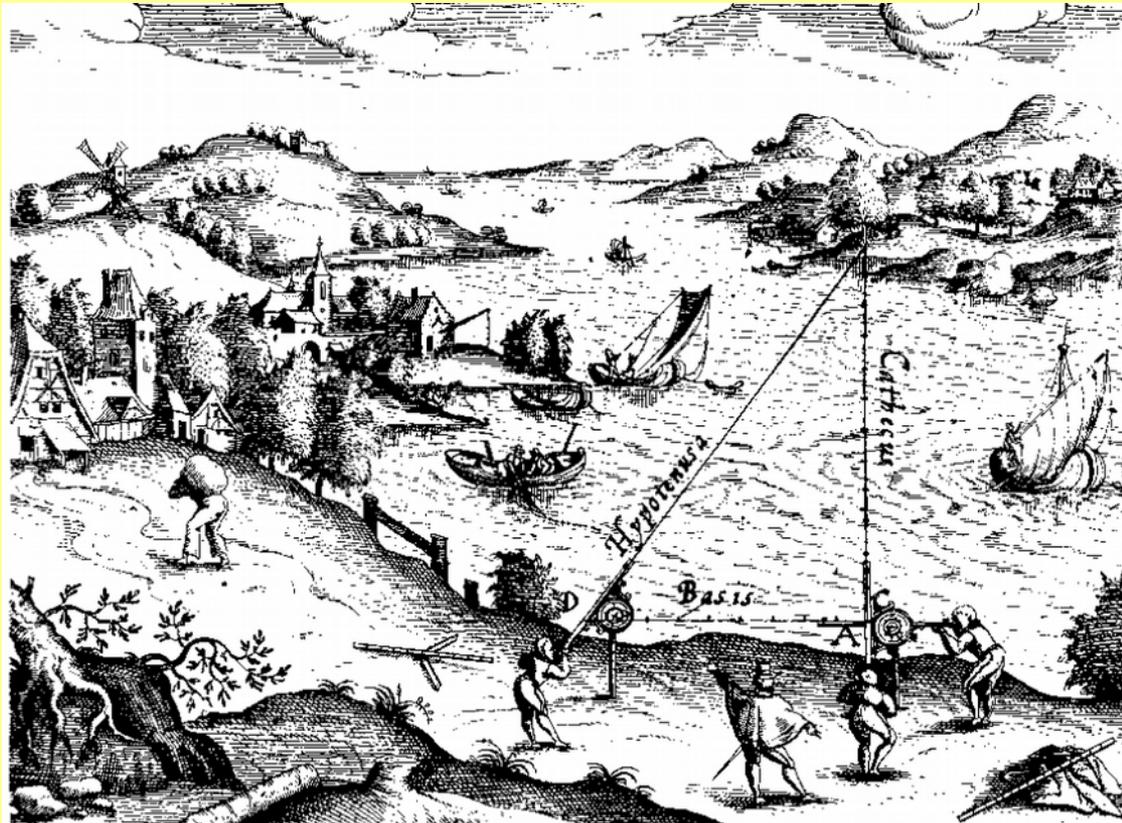


Nella **geodesia classica** i datum venivano impiegati solo per la **planimetria**, perché l'**altimetria** veniva trattata a parte. Si parla in questo caso di **horizontal datum**.

L'**altimetria** espressa mediante le quote ortometriche (o geoidiche) richiede la definizione di un datum a parte (**vertical datum**) basato su uno zero di riferimento (**mareografo**) e una **rete** di livellazione, a cui va poi associato un modello di geoida.

Datum nella geodesia classica

La **geodesia classica** si basava su **misure** eseguite a **terra**. Attraverso la tavola pretoriana si poteva utilizzare la triangolazione per determinare la posizione di punti prescelti, misurando gli angoli formati dalle linee che collegano ciascun punto a quelli circostanti e conoscendo un lato del triangolo .



Triangolazione

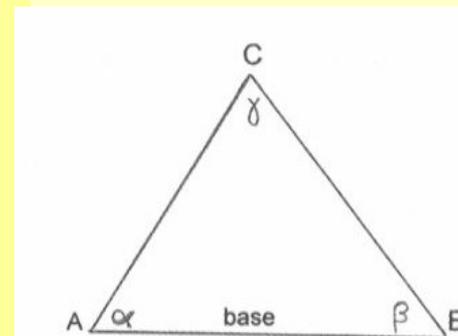
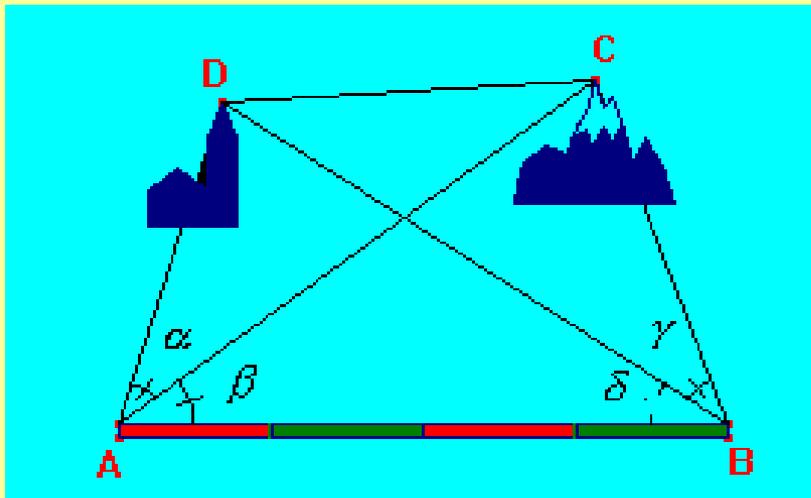
Il metodo di triangolazione si basa sulle proprietà trigonometriche dei triangoli e in particolare sul teorema dei seni e quello di Carnot.

Esso permette di calcolare la distanza fra due punti non direttamente accessibili: conoscendo AB e applicando il teorema dei seni, si possono calcolare BD e BC in base agli angoli misurati α , β , γ e δ . Considerando il triangolo ABD si ricava BD dalla relazione:

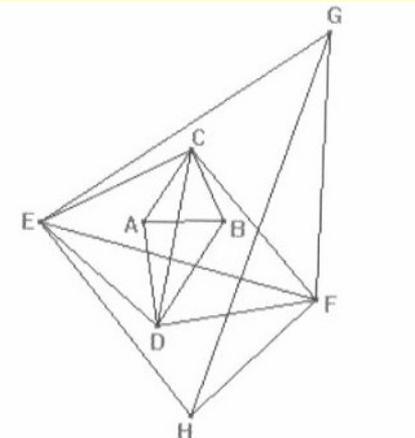
$$\frac{BD}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{AB}{\sin(\alpha + \beta + \delta)}$$

Considerando poi il triangolo ABC e con lo stesso procedimento si ottiene BC. Applicando il teorema di Carnot al triangolo BCD si ricava CD:

$$CD = \sqrt{BD^2 + BC^2 - BD \cdot BC \cdot \cos \gamma}$$



Triangolazione.

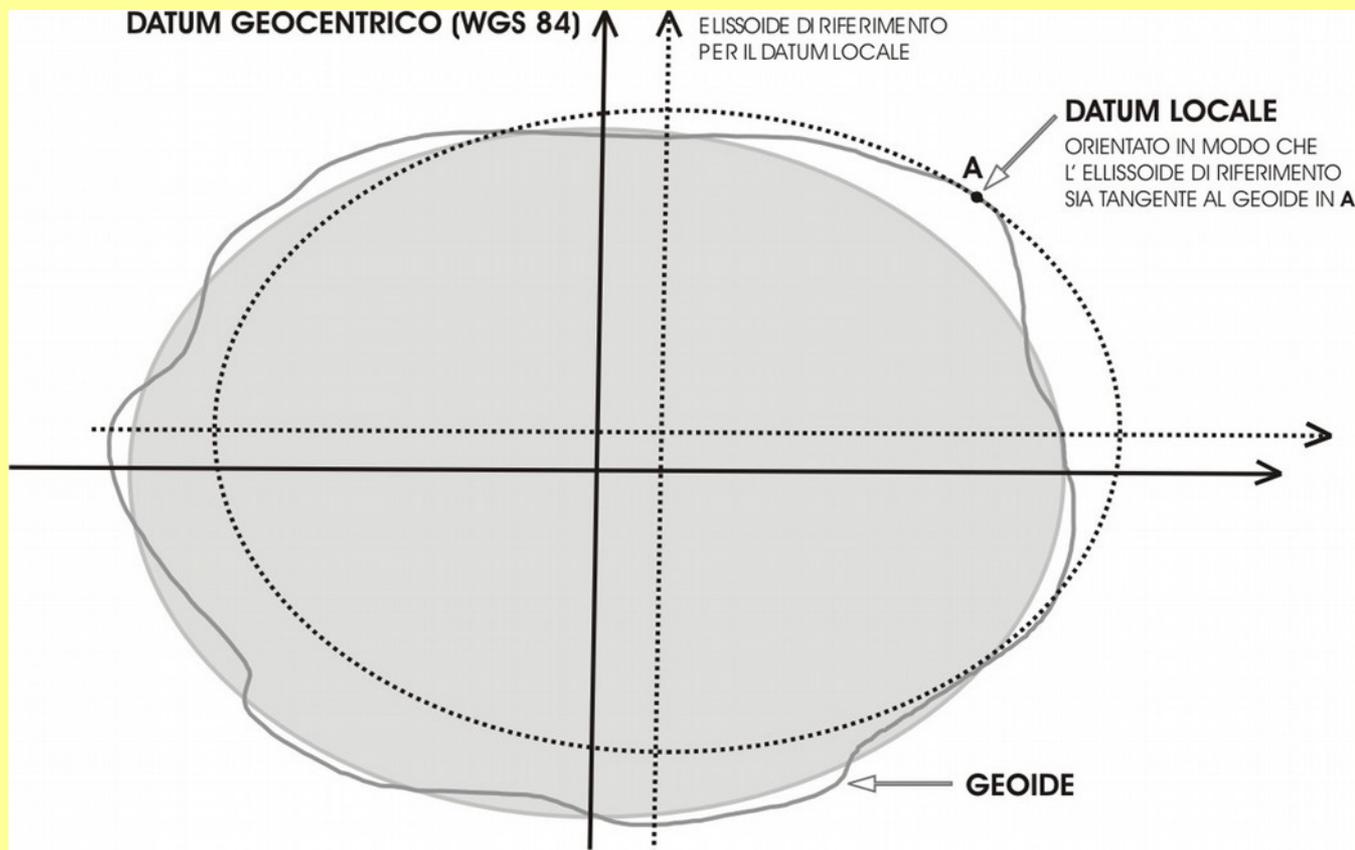


Datum nella geodesia classica

Nella **pratica**, la definizione classica di un datum consiste nell'individuare un **ellissoide orientato localmente**.

Si sceglie un determinato ellissoide (Hayford, Bessel, ...), e si assumono come noti e privi di errore i suoi parametri di dimensione e forma (ad es. semiasse maggiore e schiacciamento).

Questo ellissoide viene poi **orientato** in un dato **punto** (detto punto di **emanazione**)



Datum classico (locale)

Si compone di:

Elissoide di riferimento (orientato in un determinato punto della superficie terrestre)

Punto di emanazione (orientamento - tangenza fra geoide ed elissoide)

Rete geodetica associata (serie di punti materializzati sul terreno mediante misurazioni)

Datum nella geodesia moderna (satellitare)

La geodesia moderna è essenzialmente una **geodesia satellitare**, nella quale la determinazione della posizione di punti della Terra (**posizionamento**) viene eseguita per mezzo di misure su **satelliti orbitanti**.

Un generico sistema satellitare globale per posizionamento viene denominato **GNSS (Global Navigation Satellite System)**.

Tra i sistemi GNSS, quello oggi più utilizzato è lo statunitense **GPS**, a cui si aggiunge il sistema russo **GLONASS** e nel prossimo futuro anche il sistema europeo **GALILEO**.

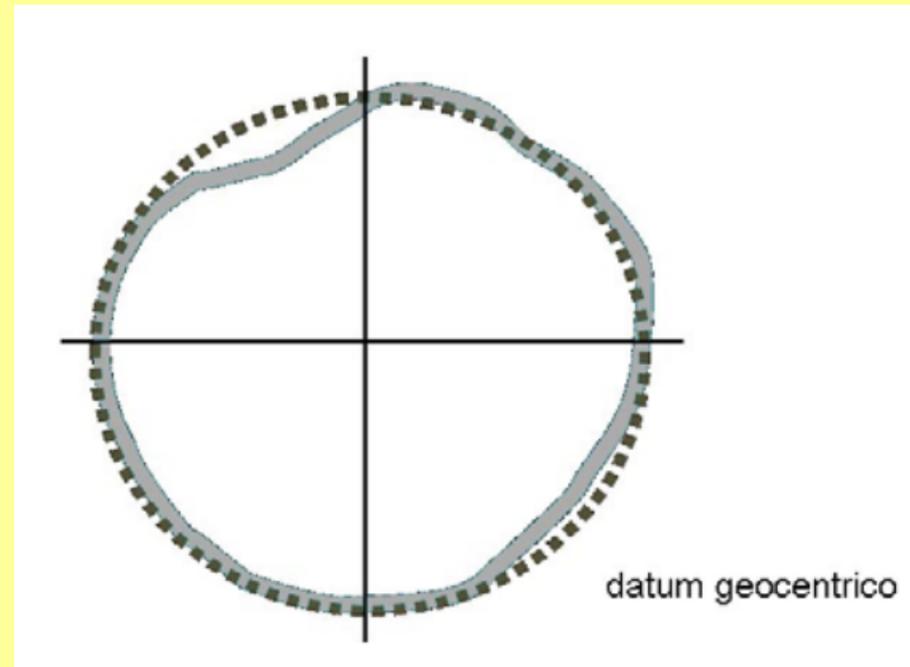
Nella geodesia satellitare è indispensabile ragionare ed eseguire calcoli alla **scala globale**.

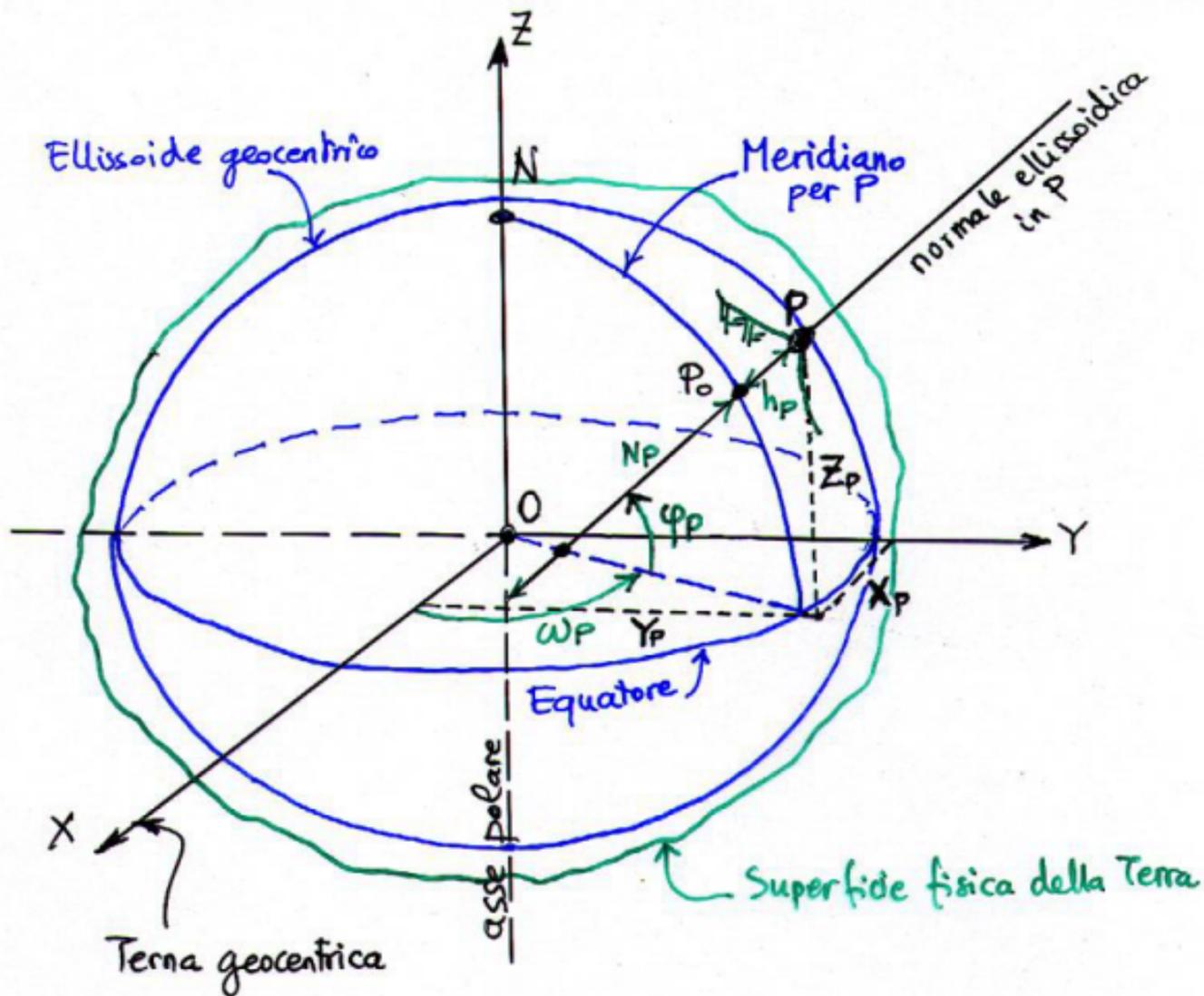
Si utilizzano pertanto **datum** geodetici di **tipo globale**, **validi per tutto il mondo**, a differenza di quelli della geodesia classica, che come si è visto avevano validità locale, anche se a volte per zone molto grandi.

Datum satellitare - globale

L'ellissoide può essere orientato rispetto al geoide in modo che vi sia **coincidenza** tra il **centro dell'ellissoide** ed il **centro di massa del geoide**, 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, a causa dei maggiori scarti esistenti tra la superficie ellissoidica e quella geoidica, risulta relativamente meno precisa, ma è basata su un unico sistema di riferimento per l'intero pianeta.





L'asse Z coincide con l'asse polare (asse di rotazione medio della Terra); gli assi X ed Y giacciono sul piano equatoriale, con l'asse X diretto secondo il meridiano fondamentale

Come per i datum classici, per il concreto utilizzo di quelli **globali** è necessaria una **realizzazione del datum** (serie di punti materializzati sul terreno mediante misurazioni).

Anche ai datum globali, quindi, va associata una **rete geodetica**: data la globalità del datum si tratta di **reti internazionali**, integrate poi da reti di **raffittimento** a livello **nazionale** o locale che diffondono il datum sul territorio mettendolo a disposizione di tutti gli utenti.

Va precisato che le **reti geodetiche** attuali si distinguono in **due categorie**:

Reti dinamiche o attive: sono composte da stazioni permanenti, dotate di un ricevitore **GNSS** attivo 24 ore su 24; le singole stazioni sono collegate a un centro di controllo che archivia e distribuisce i dati acquisiti dalle stazioni.

Reti statiche o passive: sono reti geodetiche simili a quelle tradizionali, costituite da **punti materializzati sul terreno** o su manufatti e privi di strumentazione. Il rilievo di queste reti richiede l'effettuazione di una campagna di misure: i tecnici vanno a occupare i punti della rete con ricevitori GNSS, per la sola durata necessaria alle misure. Tra una misura e la successiva passano spesso **diversi anni**, per cui ogni soluzione della rete, costituita dalle sole coordinate dei vertici (e le relative matrici di varianza-covarianza), si considera valida per anni.

Datum satellitari: WGS84

E' il **datum globale** più **noto** e utilizzato ed è quello su cui si basa il sistema satellitare **GPS**: datum WGS84 (WGS = World Geodetic System, sistema geodetico mondiale). E' stato il primo a conoscere un **utilizzo di massa**, essendo **impiegato** per il **GPS** che ha una larga diffusione. E' tuttora il **più utilizzato** dai tecnici di tutto il **mondo**, nei sistemi di navigazione e nella maggior parte della cartografia di recente produzione.

In **Europa**, il datum **WGS84** si può considerare, ai fini pratici, **coincidente** con la **realizzazione ETRF89** (European Terrestrial Reference Frame) del datum europeo **ETRS** (European Terrestrial Reference System).

ETRF89 è una **soluzione**, alla data **1 gennaio 1989**, della rete europea **dell'EUREF** (ente che riunisce i servizi geodetici di tutti gli stati d'Europa). La rete dell'EUREF (prossima slide) è una **rete dinamica** o attiva, composta da **stazioni permanenti GNSS**; viene per questo denominata **EPN (EUREF Permanent Network)**.

EUREF Permanent Tracking Network



Le **stazioni** della rete **EPN** che ricadono sul territorio di una **singola nazione** sono **poche** (in Italia una ventina circa, con densità particolarmente bassa a sud di Roma), insufficienti per le applicazioni geodetico-topografiche correnti. E' quindi necessario, a livello nazionale e locale, operare un **raffittimento** della rete EPN.

Verso la metà degli anni 1990 l'IGM ha istituito a questo scopo la **Rete IGM95**, una **rete statica** o passiva, composta in **origine** da circa **1200** vertici distribuiti **uniformemente** su tutto il territorio **italiano**, **collegata** alla rete europea **EPN**.

IGM95 costituisce la **prima realizzazione** ufficiale **italiana** del **datum WGS84**.

Le **coordinate** delle reti statiche come IGM95 si considerano **costanti** nel tempo per lunghi periodi, dell'ordine di diversi anni, **trascurando** l'effetto delle **deformazioni** della **crosta terrestre**.

Quando i movimenti accumulati nel corso del tempo raggiungono entità che non sono più trascurabili, si procede a un **aggiornamento** delle coordinate.

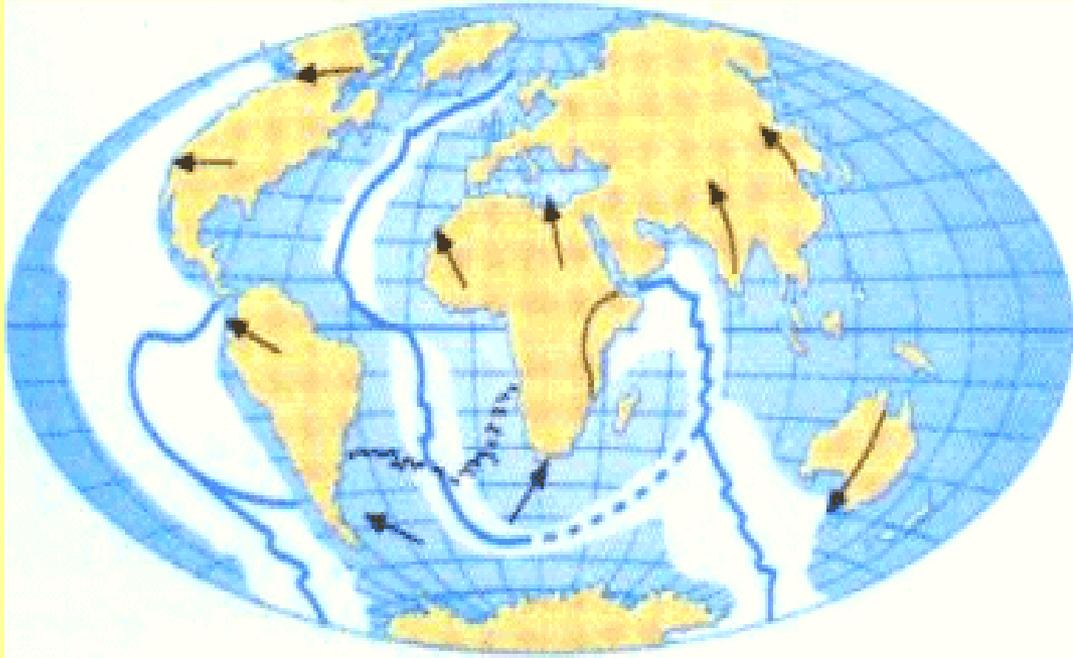
IGM95

MAGLIA SECONDARIA DEI PUNTI FIDUCIALI CATASTALI			
B394 0014 AGRARIANO CASA BIANCA		IDENTIFICATIVO CATASTALE (lotto) 50 0170 B394	
PROVINZA	BRESCIA	Distretto	Centro e sub-urbano, scelti a C.S.
COMUNE	CALDMATO	Assessorato	Il ruolo distribuito in 4 Compagnie, all'epoca del lavoro: I
LOCALITÀ	CALDMATO CAMPANA		
ANNO STIPULAZIONE	1953	P. n.º	Decreto regio. e dist. del 10/01/1953 - 100/1010 - G.F.G.
ORIGINARIAMENTE	P. n.º 458/1954 - 100/1010 - G.F.G.		
COORDINATE			
WGS 84 geografiche	UTM WGS 84	ROMA 40 geografiche I.G.M. v	GAUSS-BONAPARTE
φ Latitudine	45° 27' 31.934"	Nord	5 035 425,885 m
λ Longitudine	10° 28' 52.257"	Est	1 635 387,694 m
h altitudine	174,485 m	h altitudine	174,485 m
		h altitudine	130,000 m
		h altitudine	150,668 m
		PUNTO DI RIFERIMENTO 1	PUNTO DI RIFERIMENTO 2
		Segnale: Abbeveratoio C.S. del canale di irrigazione "S. Maria"	Segnale: Monumento in C.S. del canale di irrigazione "S. Maria"
		PUNTO DI RIFERIMENTO 3	
		Segnale: Monumento in C.S. del canale di irrigazione "S. Maria"	
NOTE E VARIAZIONI			



Datum ITRS

Il datum **ITRS** (International Terrestrial Reference System) è il più importante a **livello scientifico** tra i **datum globali**. Si tratta di un datum **dinamico**, basato su una terna geocentrica, la cui definizione **iniziale coincideva** con quella del **WGS84**, ma successivamente se ne è andato **discostando** perché le coordinate dei punti che lo realizzano vengono ricalcolate frequentemente e variano nel tempo seguendo le **deformazioni** della **crosta terrestre** (deriva dei continenti ed altri fenomeni geofisici).



Datum ITRS

La **realizzazione** di **ITRS** avviene mediante una **rete** mondiale di **stazioni permanenti**.

Le soluzioni **periodiche** di questa rete costituiscono le **realizzazioni** o **frame** di **ITRS** e vengono denominate **ITRFxxxx** (**International Terrestrial Reference Frame xxxx**), dove **xxxx** indica l'anno a cui la soluzione si riferisce. La realizzazione più recente è la **ITRF2005**.

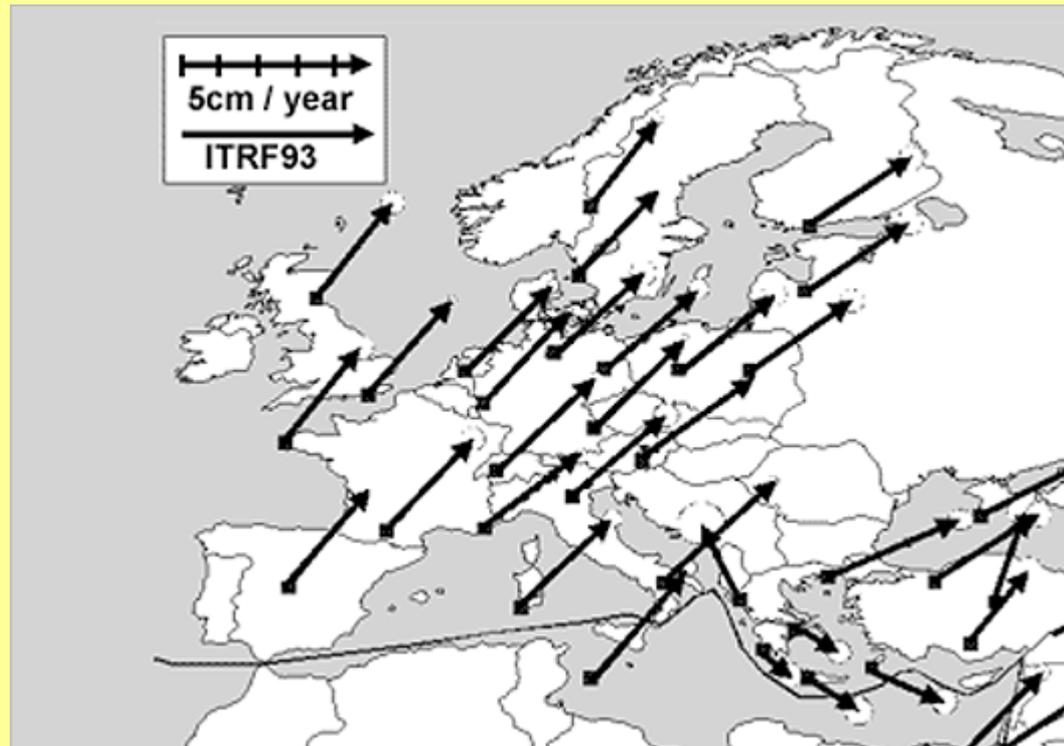
Il datum **ITRS** trova applicazione soprattutto a livello **scientifico**, principalmente negli studi di **Geofisica**, consentendo una descrizione molto accurata delle deformazioni della crosta terrestre.

Datum ETRS

Il datum **ETRS** (European Terrestrial Reference System) è un **datum dinamico** definito in modo **analogo** ad **ITRS**, caratterizzato quindi da coordinate variabili nel tempo.

Differenza: **ETRS** è **vincolato** alla **piattaforma continentale europea**.

Per cui la rete risulta **solidale** alla **piattaforma europea**, la segue nei suoi movimenti complessivi di deriva.



Datum ETRS

Le **variazioni** di coordinate dei punti **nel tempo in ETRS** sono dovute solo ai **movimenti relativi tra un punto e l'altro**, non ai movimenti d'insieme del continente come avviene invece in ITRS.

Si tratta quindi di **variazioni molto più lente**, di velocità molto più piccole rispetto a quelle di ITRS.

In altre parole, le **coordinate ETRS** sono molto più **stabili** nel tempo **rispetto** a quelle **ITRS**, e ai fini pratici possono anche essere considerate costanti per parecchi anni, come viene fatto ad esempio per la rete IGM95.

Datum ETRS

Le realizzazioni europee di ETRS, come nel caso di ITRS, sono soluzioni della rete EPN calcolate a una certa data e considerando un assegnato insieme di stazioni.

Esse vengono calcolate periodicamente dall'EUREF e denominate **ETRFxx** (European Terrestrial Reference Frame xx).

Tra le realizzazioni di ETRS, la più utilizzata è tuttora la **ETRF89**, che come già è stato detto si può considerare **coincidente con WGS84** e in Italia è ulteriormente realizzata dalla rete IGM95.

La successiva realizzazione **ETRF2000** sta iniziando a diffondersi ma è ancora destinata prevalentemente a impieghi scientifici o alla gestione di reti permanenti.

ETRF2000: il nuovo sistema geodetico nazionale

Dal **27 febbraio 2012** (data della pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del Decreto della Presidenza del Consiglio dei ministri del 10 novembre 2011: “Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale”), **ETRF2000** è il **sistema geodetico nazionale**.

Sempre a decorrere dal 27 febbraio 2012 “le **amministrazioni** utilizzano il Sistema di riferimento geodetico nazionale per **georeferenziare** le proprie stazioni permanenti, nonché per i risultati di **nuovi rilievi**, le **nuove realizzazioni cartografiche**, i nuovi prodotti derivati da immagini fotografiche aeree e satellitari, le banche dati geografiche e **per qualsiasi nuovo documento o dato da georeferenziare**” (art. 3).

ETRF2000

Il **Sistema di riferimento geodetico nazionale** adottato dalle amministrazioni italiane e' costituito dalla realizzazione **ETRF2000** – all'epoca 2008.0 - del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, ottenuta nell'anno 2009 dall'Istituto Geografico Militare, mediante **l'individuazione delle stazioni permanenti**, l'acquisizione dei dati ed il **calcolo della Rete Dinamica Nazionale**.

La Rete dinamica nazionale (**RDN**), costituita dalle stazioni permanenti **materializza** il nuovo **Sistema di riferimento geodetico nazionale**.

L'Istituto Geografico Militare cura, anche attraverso accordi con le Regioni e gli enti gestori o proprietari delle stazioni, il **monitoraggio** e **l'efficienza della Rete dinamica nazionale**.

Coordinate

Una volta che sia stato definito il datum geodetico in cui si opera, la posizione di un punto può essere individuata, pur restando nello stesso datum, mediante diversi **tipi di coordinate**, tra loro praticamente equivalenti perché è possibile passare dall'uno all'altro con opportune formule di trasformazione, espressione di algoritmi matematici.

I paralleli e meridiani formano il reticolato geografico

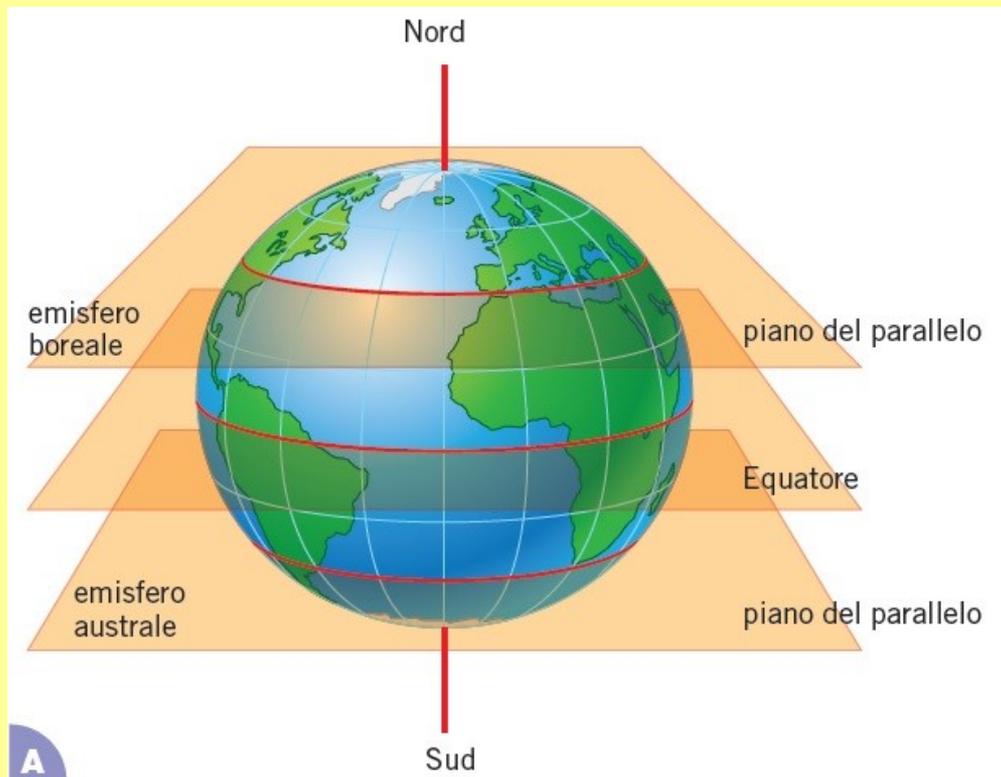
Quando occorre individuare un punto preciso della superficie terrestre è indispensabile fare ricorso a una serie di linee immaginarie (paralleli e meridiani) le cui intersezioni costituiscono il **reticolato geografico**.

Si prendono come punti di riferimento i poli geografici, ossia i punti di intersezioni tra l'asse e la superficie terrestre. Oltre ai poli anche la linea dell'**Equatore** può risultare utile come riferimento.

L'Equatore è il **parallelo equidistante** dai due poli. E' la **circonferenza massima** della Terra e divide teoricamente il globo terracqueo in due emisferi: **boreale e australe**.

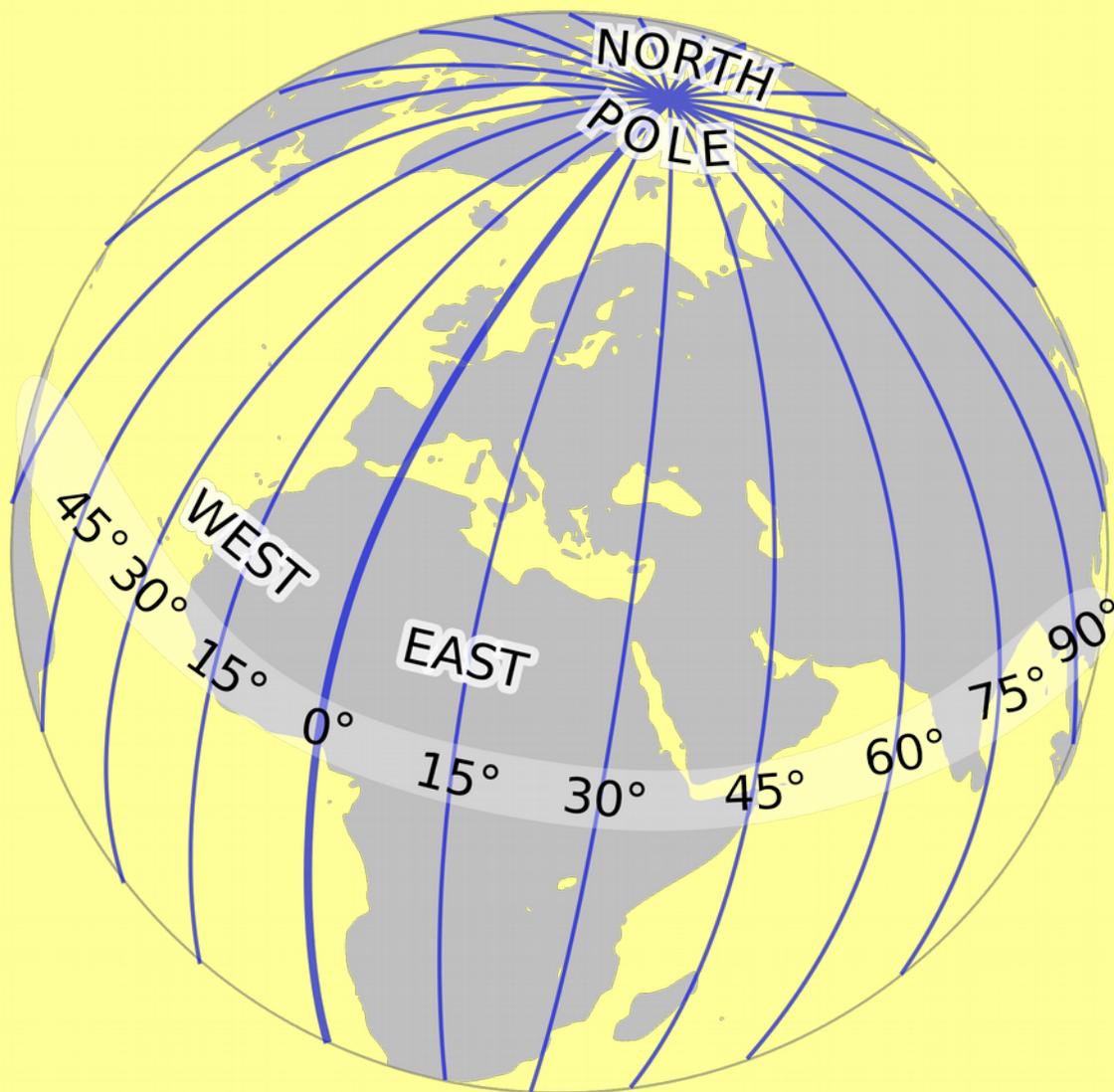
I paralleli e meridiani formano il reticolato geografico

Tra l'Equatore e i poli si possono individuare infiniti altri cerchi, detti **paralleli**, determinati dall'intersezione con la superficie terrestre di piani paralleli al piano equatoriale.



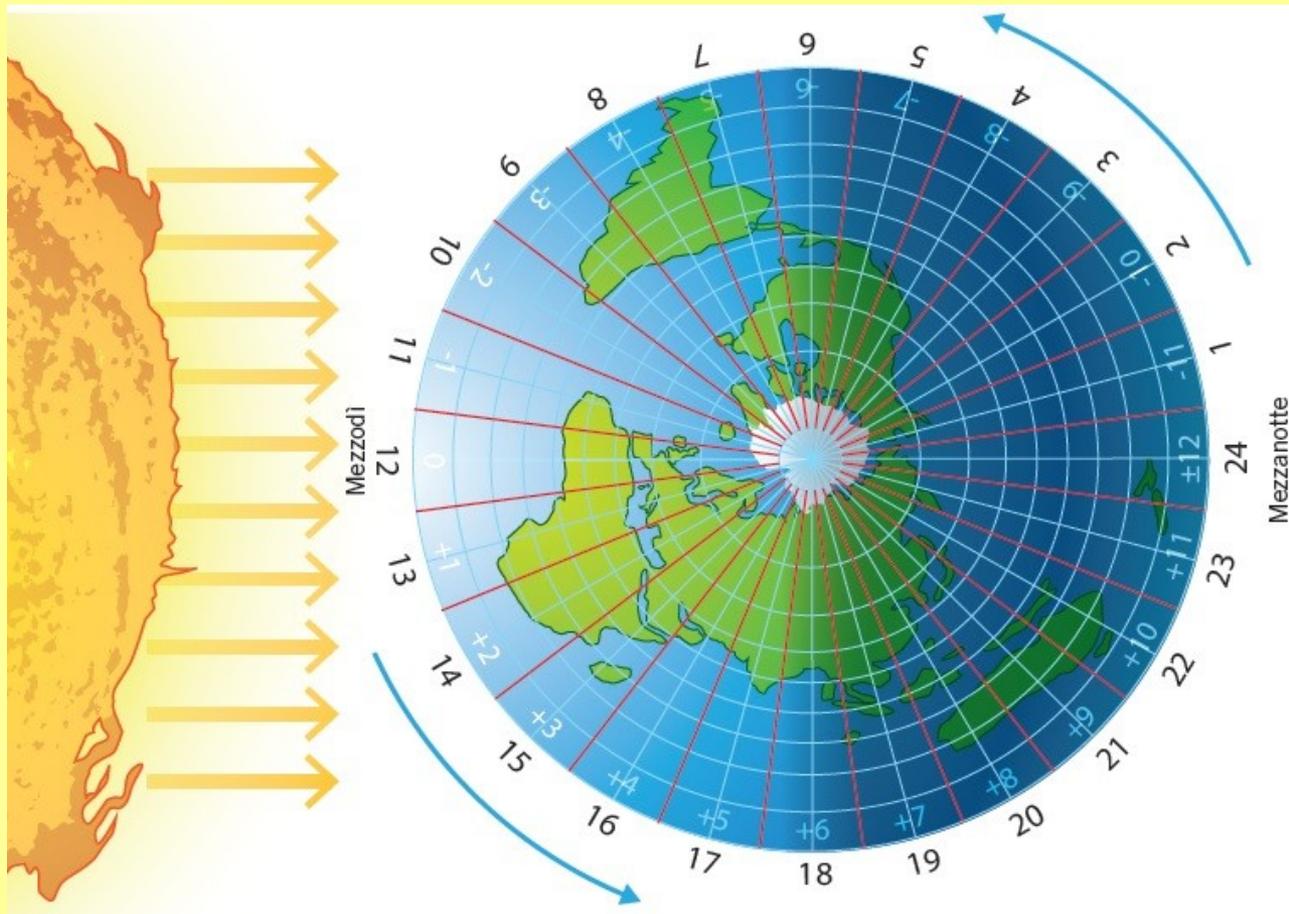
Intersecando la superficie terrestre con piani che comprendano l'asse terrestre e che passino per entrambi i poli, si individuano dei cerchi tutti uguali: ciascuno è formato da un **meridiano** e da un antimeridiano. Quello che passa per Greenwich è il **meridiano fondamentale**.

I MERIDIANI sono circonferenze massime passanti per i **Poli**. Sono 180, però si considerano come meridiani geografici le semicirconferenze comprese tra un Polo e l'altro, ed ognuna di esse ha il proprio antimeridiano nella semicirconferenza rimanente ed opposta, per cui sono 360, situate alla distanza di 1° l'una rispetto all'altra.



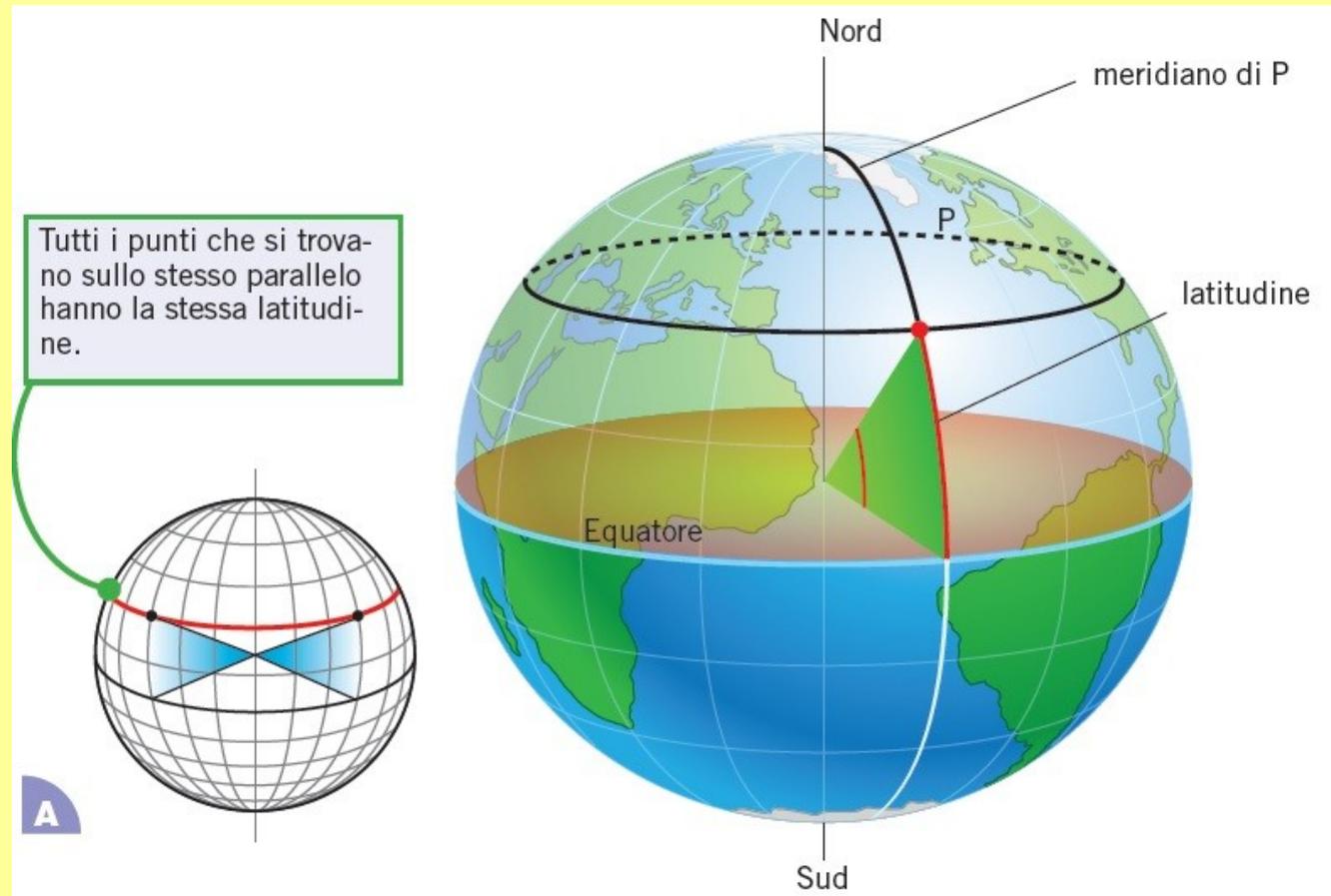
La Terra è divisa in 24 fusi orari

Poiché la Terra compie una rotazione di 360° in 24 ore, la superficie terrestre si può suddividere in 24 spicchi, detti **fusi orari**, ciascuno dell'ampiezza di 15° di longitudine.



Le coordinate geografiche consentono di determinare la posizione di un punto sulla Terra

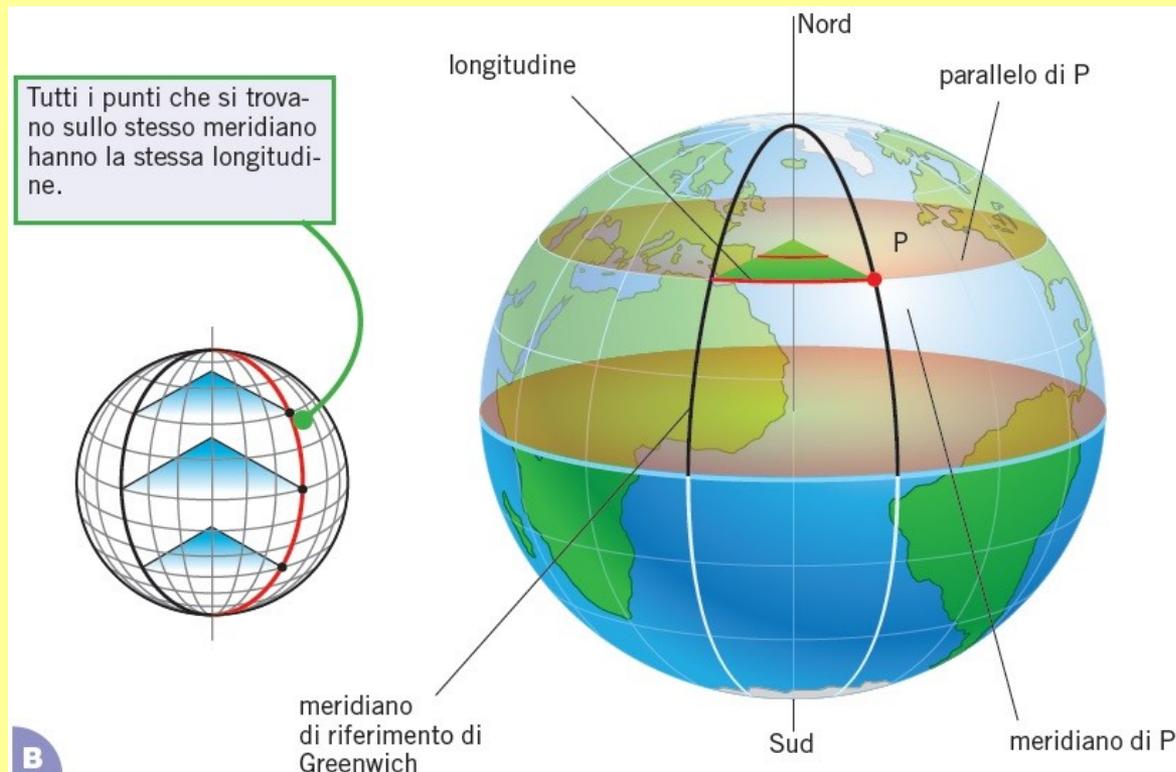
Le coordinate geografiche sono la latitudine, la longitudine e l'altitudine.



La **latitudine** di un punto P è la distanza angolare tra il parallelo passante per P e l'Equatore.

Le coordinate geografiche consentono di determinare la posizione di un punto sulla Terra

La **longitudine** di un punto P è la distanza angolare tra il meridiano passante per P e il meridiano fondamentale passante per Greenwich.



L'**altitudine** o quota di un punto P si determina con particolari strumenti detti altimetri.

Coordinate geografiche

Dove è
l'origine?

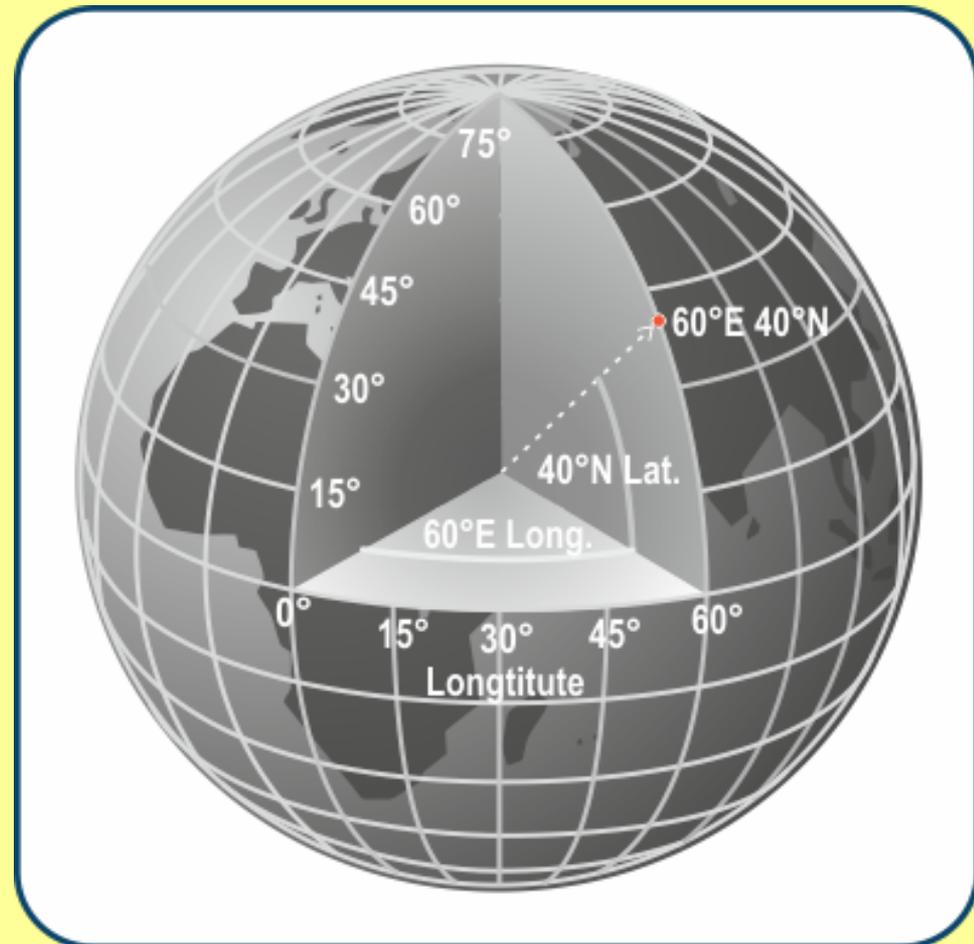
L'origine è dove
l'Equatore
interseca il primo
meridiano.



Coordinate geografiche

La **latitudine** è il valore **angolare dell'arco di meridiano** compreso tra un punto e l'equatore o, meglio, il valore dell'angolo che la normale all'ellissoide in punto forma con il piano equatoriale.

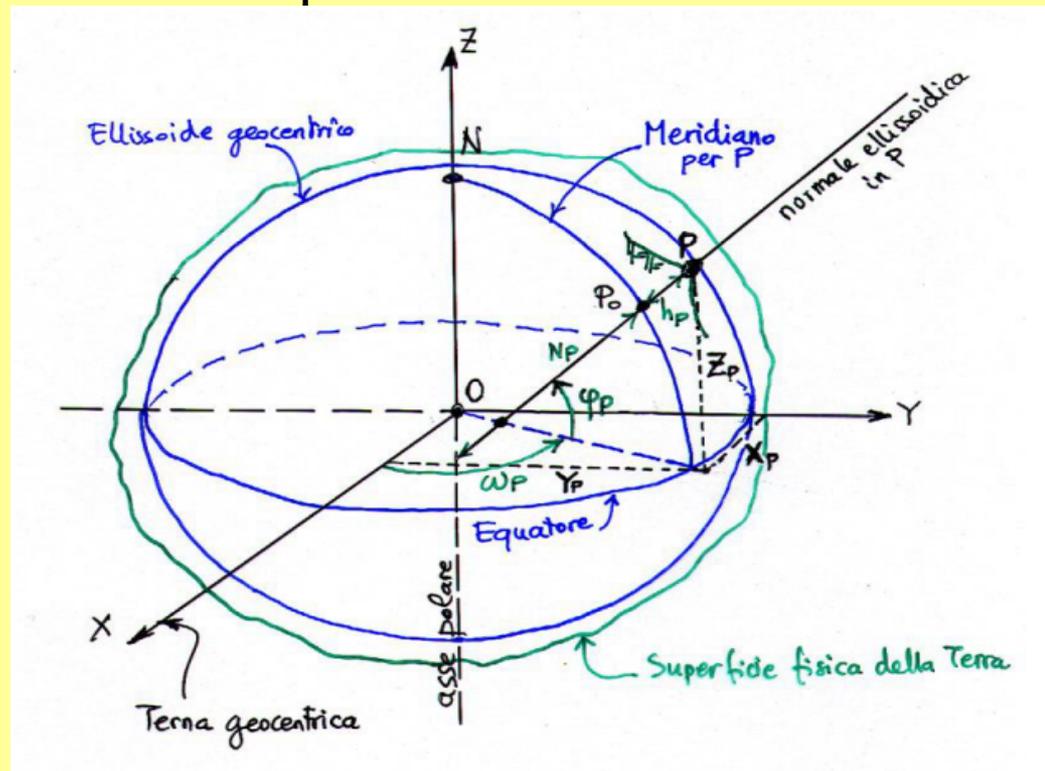
La **longitudine** è il valore **angolare dell'arco di parallelo** compreso tra un punto e il meridiano di riferimento.



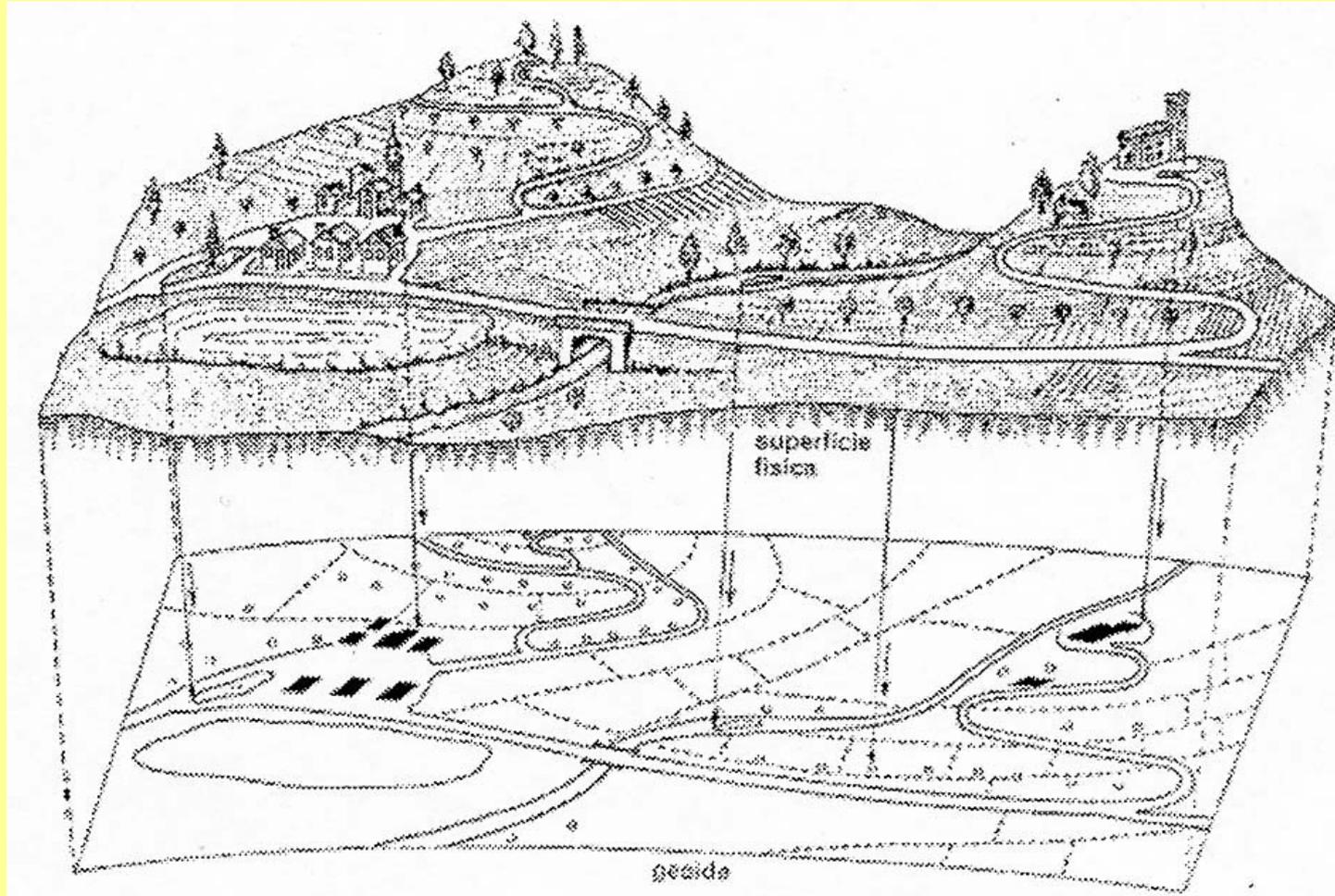
Coordinate cartesiane geocentriche/geografiche

Le coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z) sono le coordinate cartesiane di un punto rispetto alla terna d'assi geocentrica $OXYZ$. La terna di valori (X, Y, Z) definisce la posizione tridimensionale di un punto in modo del tutto equivalente alla terna (φ, ω, h) riferita all'ellissoide geocentrico, avente gli assi lungo le direzioni X, Y, Z . Le coordinate geocentriche individuano la posizione tridimensionale di un punto senza ambiguità.

Di solito, però, si preferisce esprimere i risultati di un rilevamento con le coordinate geografiche, il cui significato risulta più intuitivo e confrontabile con risultati di misure classiche.



Proiezioni cartografiche



Proiezioni

Una proiezione cartografica è una trasformazione matematica che collega le coordinate geografiche alle coordinate di un piano cartesiano.

I diversi tipi di proiezione possono mantenere localmente forma, area, distanza o direzione, ma in genere introducono tutti un certo grado di distorsione della realtà

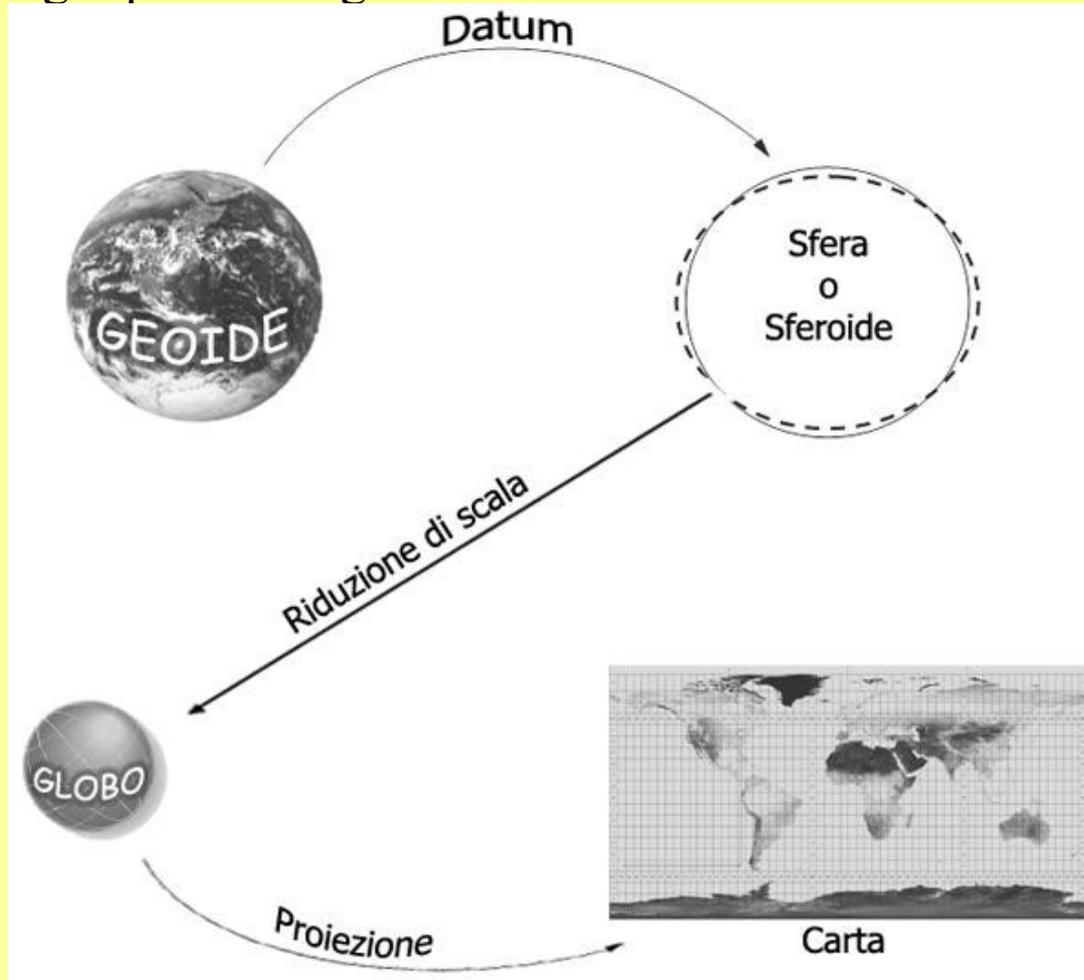
Sono espressioni matematiche

Proiezione

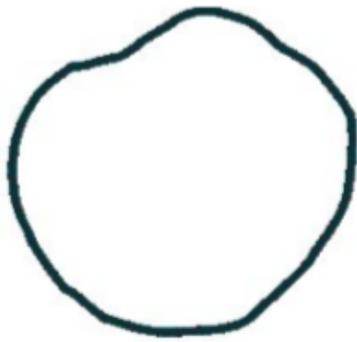
Produzione della carta in due stadi:

Realizzazione di un globo a scala ridotta della Terra

Trasferimento di ogni punto del globo sulla carta



Ricapitolando, si è partiti da:



superficie reale della Terra



**scelta della superficie approssimata
di riferimento e definizione delle relazioni
con la superficie reale**



**riduzione in scala della
superficie di riferimento**



**scelta del piano
(o del solido sviluppabile)
di proiezione**



mappa

Scala di una carta

“Definisce la riduzione delle dimensioni lineari nel passaggio dalla Terra alla carta” (Sestini)

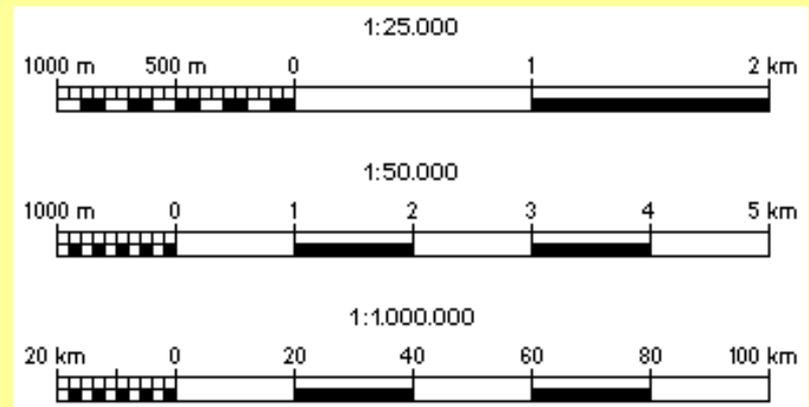
Scala

- Numerica – rapporto fra una lunghezza sulla carta ed una corrispondente lunghezza sul territorio

Es.: 1/5000

Denominatore: fattore di scala
(adimensionale)

- Grafica – segmento graduato sulla carta che consente di valutare approssimativamente e le distanze effettive sul territorio



Fattore di scala - approfondimento

Definizione più generale:

“rapporto fra una determinata distanza sul cosiddetto supporto attuale (derivato) e la corrispettiva distanza sul supporto di partenza” (Iliffe)

In riferimento al processo di produzione cartografica **due** possibili fattori di scala:

- **Uno** calcolato dal globo ridotto (supporto attuale) e la Terra (supporto di partenza)
- **Uno** dalla carta (supporto attuale) al globo ridotto (supporto di partenza)

Due possibili fattori di scala

- $FS_g = a_{b \text{ globo}} / a_{b \text{ terra}}$;
 $a_{b \text{ globo}}$ = distanza fra i punti a e b sul globo ridotto
 $a_{b \text{ terra}}$ = distanza fra i punti a e b sulla superficie terrestre
- $FS_c = a_{b \text{ carta}} / a_{b \text{ globo}}$
 $a_{b \text{ carta}}$ = distanza fra i punti a e b sulla carta
 $a_{b \text{ globo}}$ = distanza fra i punti a e b sul globo ridotto

**In assenza di distorsioni introdotte dalla proiezione -
FS_c dovrebbe essere uguale ad 1.**

Scala/Risoluzione spaziale

La risoluzione del pixel (metri) corrispondente alle varie scale può essere ricavata dall'errore di graficismo sul terreno:

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{gc} \cdot n$$

ove ε_g : errore di graficismo sul terreno (metri)

ε_{gc} : errore di graficismo sulla carta (convenzionalmente 0.2 mm)

n: fattore di scala della carta

Tenendo come incognita n e considerando ε_g il valore di risoluzione del pixel (in metri) si possono ottenere i valori della tabella

Risoluzione del <i>pixel</i> (metri)	Scala della carta
1.100	1:5.500.000
30	1:150.000
15	1:75.000
10	1:50.000
2.8	1:14.000

Proiezioni

Durante il processo di proiezione dei dati reali sul foglio, vengono comunque introdotte delle distorsioni di almeno una caratteristica geografica.

I sistemi di proiezione vengono pertanto distinti sulla base delle proprietà geometriche rispettate:

- Proiezioni ISOGONE (conformi): viene preservata l'uguaglianza di angoli compresi tra linee reali e linee rappresentate
- Proiezioni EQUIDISTANTI: nella rappresentazione viene mantenuta la reale distanza (inalterato il rapporto tra lunghezze grafiche e reali)
- Proiezioni EQUIVALENTI: viene preservata l'area (costante il rapporto tra aree grafiche e corrispondenti aree reali)

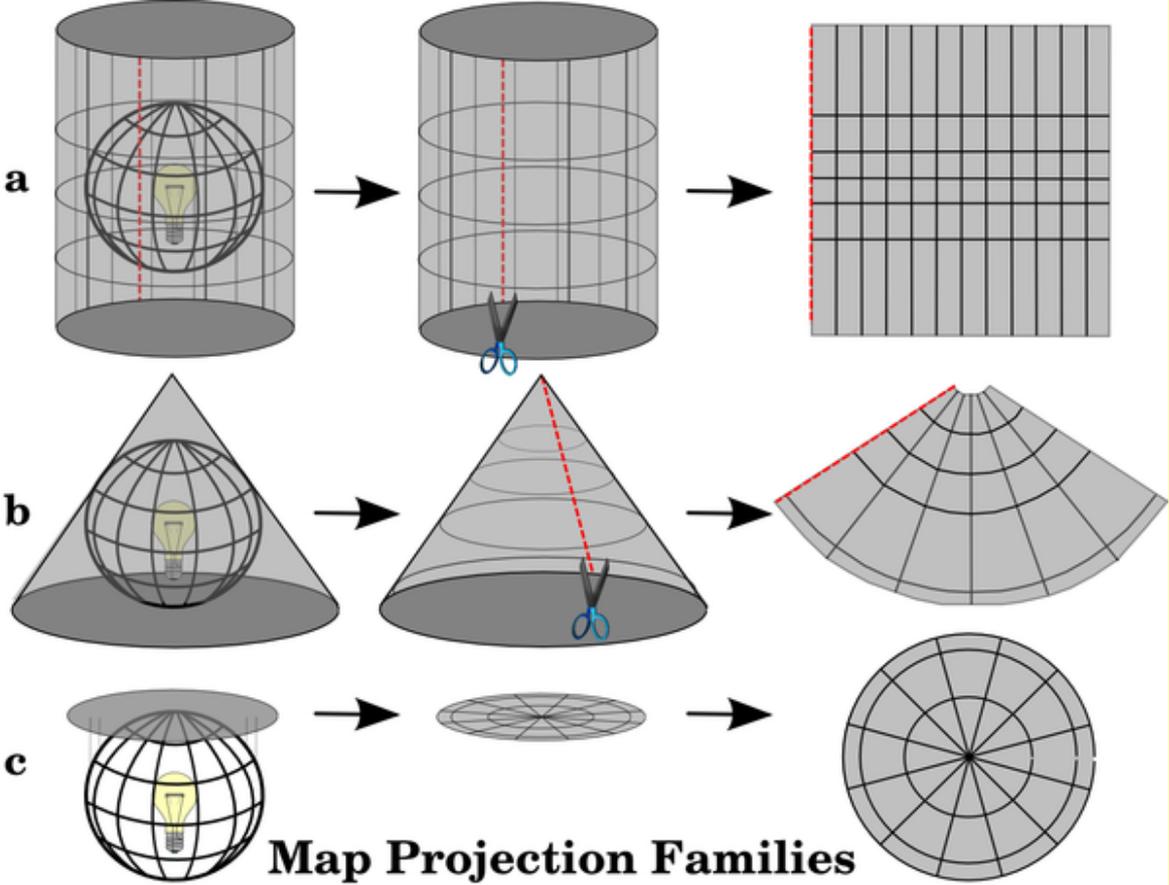
Proiezioni: solido di riferimento

La sfera/elissoide può essere proiettata su:

Piano (proiezione piana)

Cilindro (proiezione cilindrica)

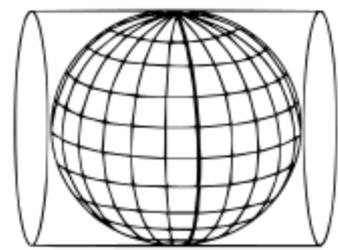
Conica (proiezione conica)



Map Projection Families



Diretta



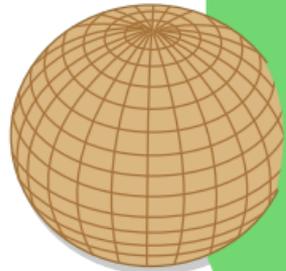
Inversa o trasversa



Obliqua

Proiezione piana

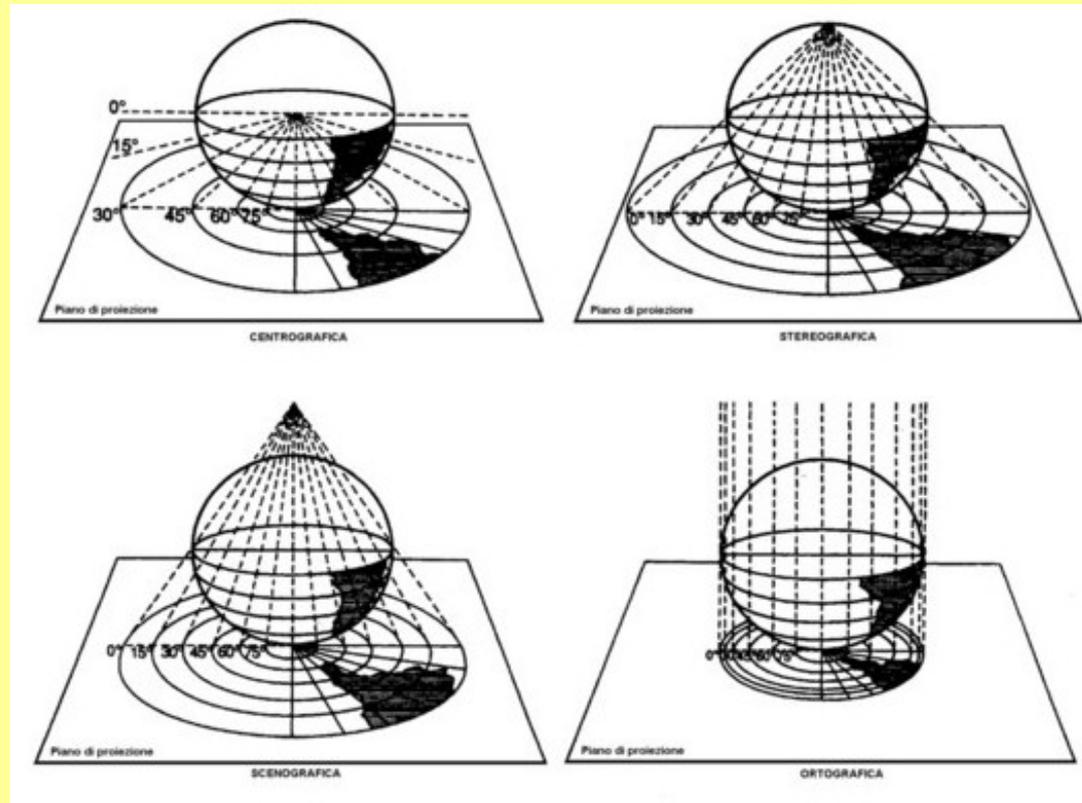
Le proiezioni piane (o prospettive) sono realizzate proiettando la superficie terrestre su un piano tangente (o secante) la sfera.



SECANT PLANAR
PROJECTION

A seconda della posizione del centro di proiezione, si avranno proiezioni centrografiche, stereografiche, scenografiche, ortografiche.

Proiezioni prospettive:
centrografica, stereografica,
scenografica, ortografica

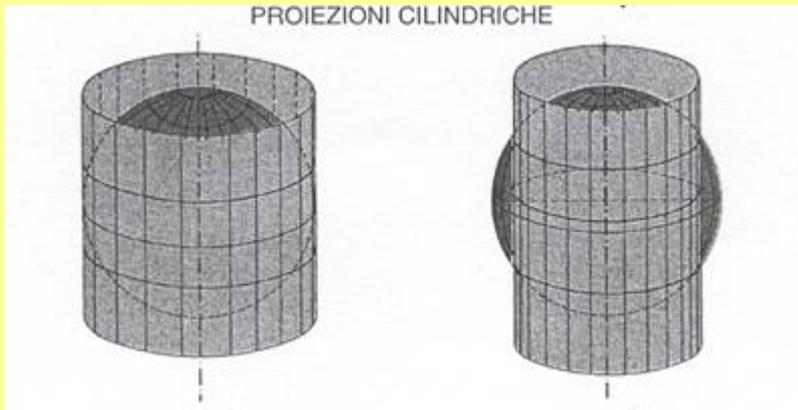


Proiezione per sviluppo: cilindrica

Le proiezioni per sviluppo sono realizzate proiettando il reticolato cartografico su una superficie tangente o secante il globo terrestre, sviluppabile su un piano.

Si suddividono in:

- cilindriche
- coniche



Nelle proiezioni cilindriche le maglie del reticolo risultano rettangolari. A mano a mano che ci si allontana dal circolo di tangenza si verifica una dilatazione delle aree se il centro di proiezione è posto nel centro del globo. Di conseguenza la distanza tra i paralleli risulterà in aumento procedendo dall'equatore verso i poli.

I meridiani sono invece tutte rette parallele equidistanti. La proiezione cilindrica per sviluppo è isogona, cioè mantiene inalterati gli angoli passando dalla superficie sferica a quella piana della carta.

La proiezione cilindrica può essere diretta, trasversa o **obliqua**.

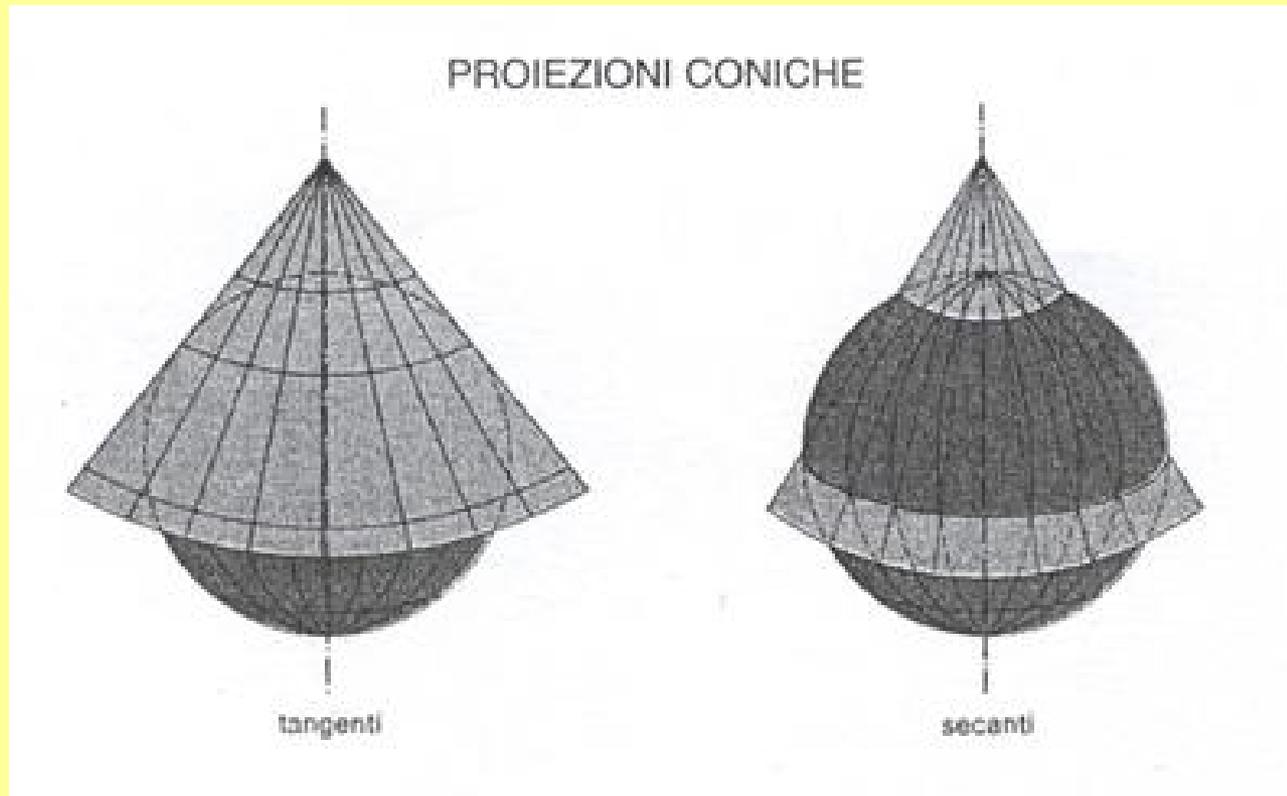
L'obliqua è usata nel caso che il Paese da mappare sia più lungo in una direzione rispetto all'altra ma non allineato lungo un meridiano o un parallelo.

In questo caso utilizzando l'obliqua viene minimizzato il fattore di scala .

Un esempio è la Malesia peninsulare.



Proiezione per sviluppo: conica



Le proiezioni coniche si ottengono dallo sviluppo in piano della superficie laterale di un cono retto tangente o secante la sfera lungo un parallelo di riferimento.

Nessuna proiezione è la migliore in senso assoluto.

Solo lo scopo prefissato orienta sull'utilizzo di una piuttosto che sull'altra.

In generale si può dire che:

- le proiezioni **cilindriche** sono efficaci per rappresentare le zone comprese tra i **Tropici**;
- le **coniche**, per le latitudini **medie**;
- le **planari** invece per le latitudini **alte**.

La localizzazione della **superficie di contatto** tra le due superfici è

importante perché si tratta dell'area a **distorsione zero**.

In generale, le distorsioni aumentano con la **distanza** dalla zona di contatto

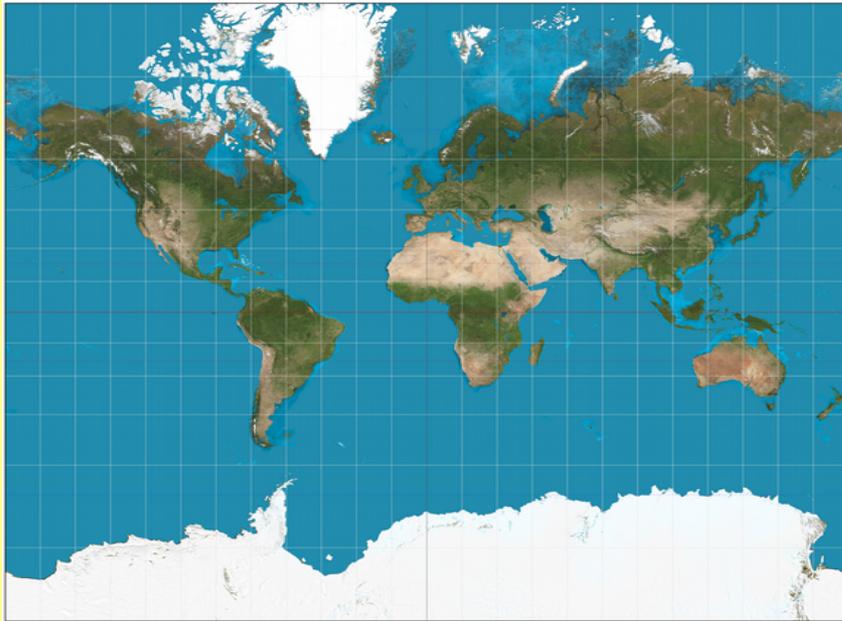


Proiezioni

EQUIDISTANTI (= preservano le Distanze)

EQUIVALENTI (= preservano le aree)

ISOGONE o CONFORMI (= preservano gli angoli)

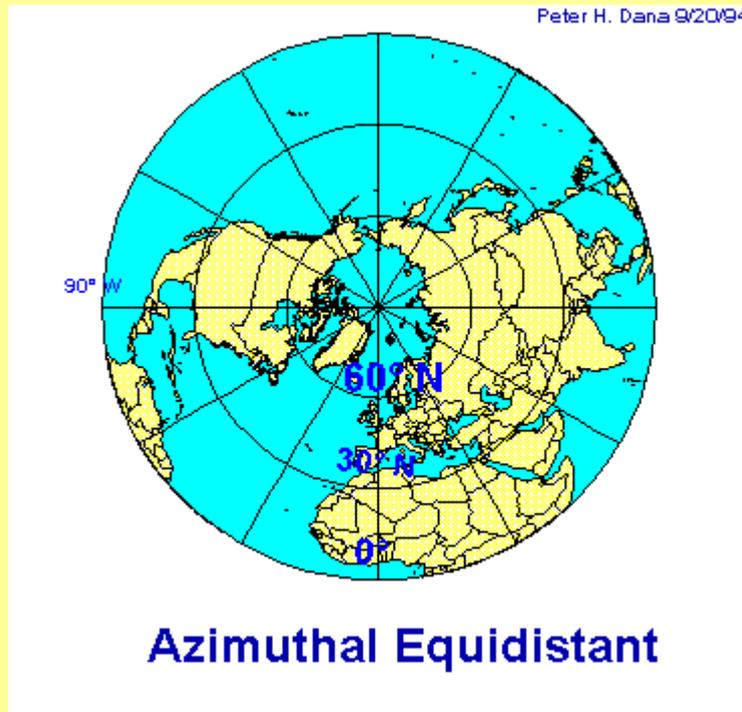


Mercatore - conforme



Peters - equivalente

Proiezioni



Equidistante

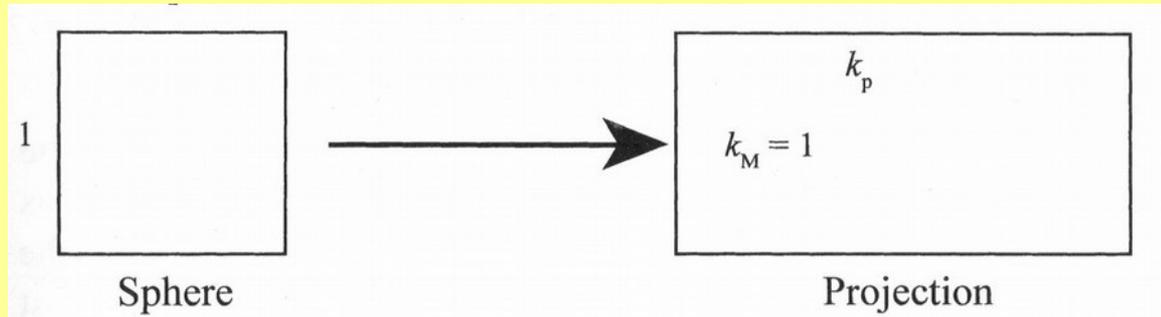
Carte Equidistanti: Il **rapporto** fra due generiche **lunghezze** sulla **carta** è uguale al rapporto tra le **lunghezze** corrispondenti sulla **terra**

Carte Equivalenti: il **rapporto** tra due generiche **superfici** sulla **carta** e' uguale al rapporto tra le **superfici** corrispondenti sulla **terra**

Carte Isogone (o conformi): l'**angolo** tra due **linee** qualsiasi sulla **terra** e' uguale all'angolo tra le loro rappresentazioni sulla **carta**

Proiezioni

Equidistanti

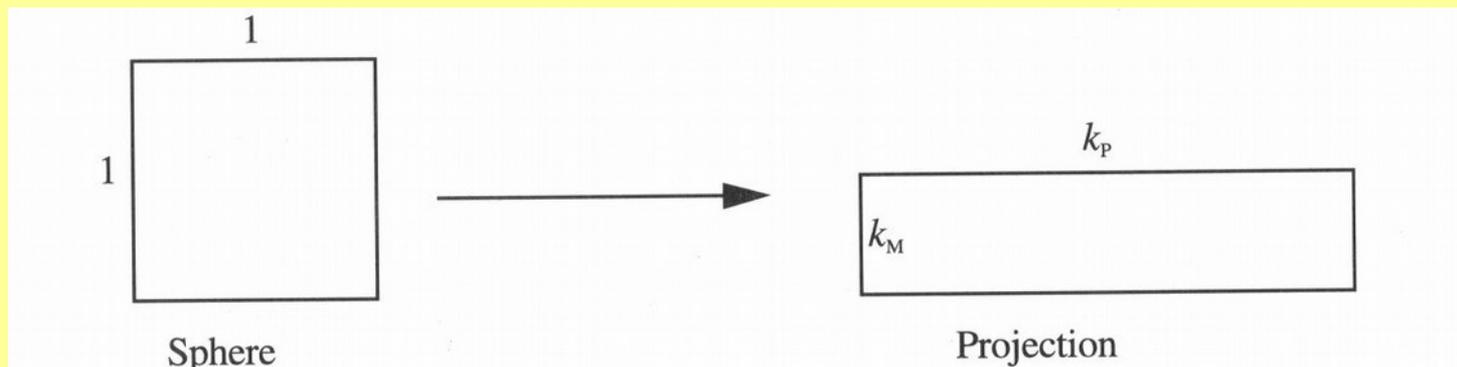


Ove: k =distanza sulla proiezione/distanza sulla sfera (o elissoide)

k_p =rapporto lungo un parallelo

k_m =rapporto lungo un meridiano

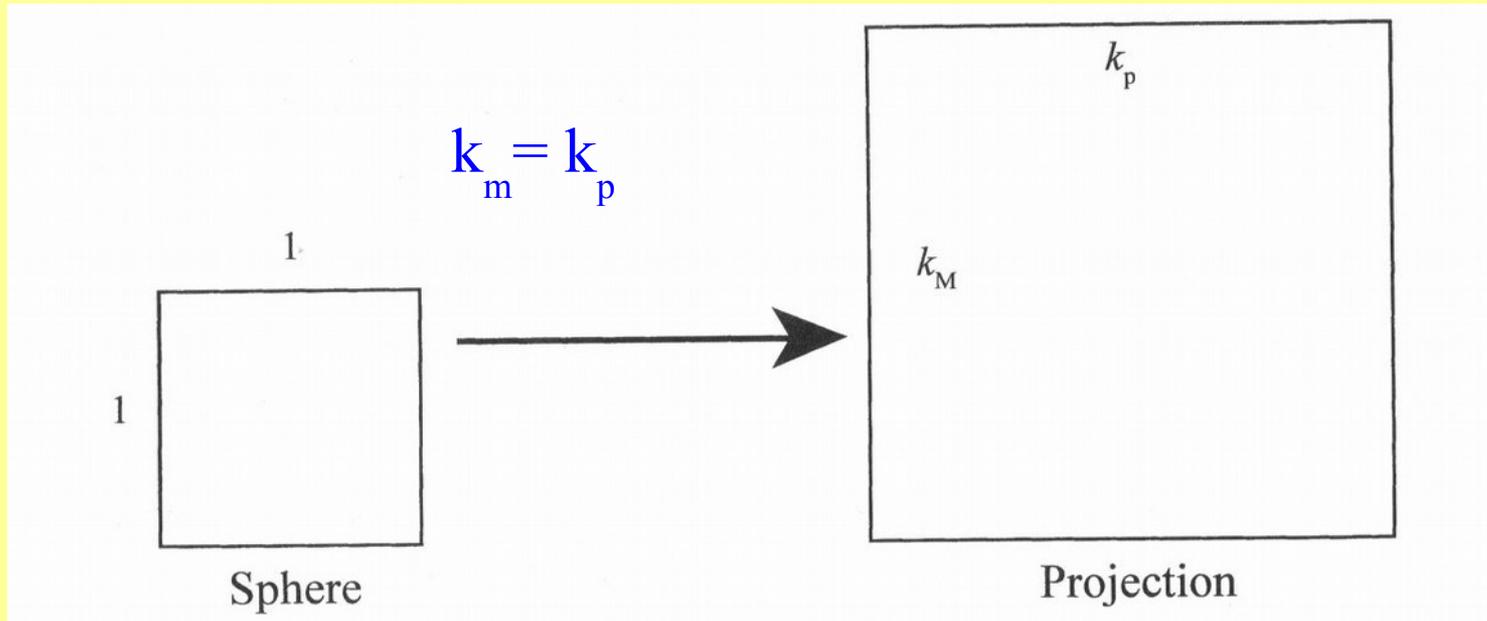
Equivalenti



$$k_m \cdot k_p = 1$$

Proiezioni

Conformi



Ove: k =distanza sulla proiezione/distanza sulla sfera (o ellissoide)

k_p =rapporto lungo un parallelo

k_m =rapporto lungo un meridiano

Carta di Mercatore

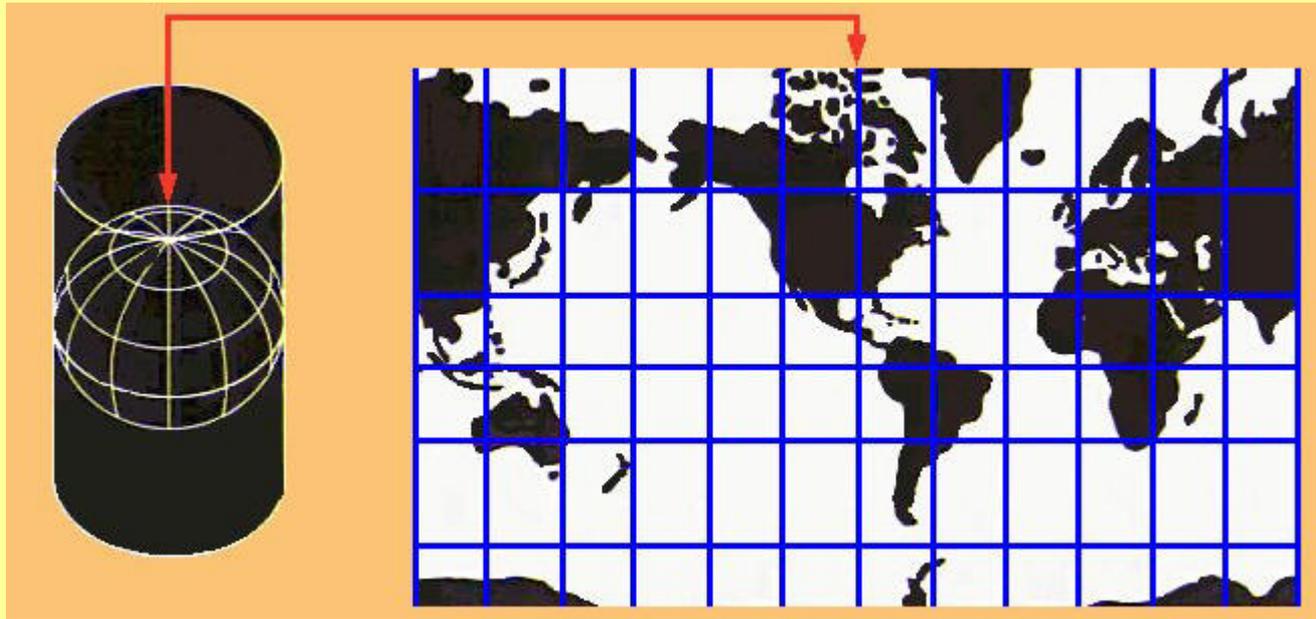
Mercatore (5 marzo 1512 – 2 dicembre 1594) è stato un matematico, astronomo e cartografo fiammingo.

A lui si deve la “ Proiezione o Carta di Mercatore “ che attualmente è il tipo di carta nautica più usata per la navigazione.

La nascita di questa Proiezione avviene nel 1569 e da allora è rimasta per il suo utilizzo in navigazione, la migliore rappresentazione di una superficie sferica su di un piano.

È una delle proiezioni cilindriche più utilizzate. E' ottenuta proiettando i punti dal centro dell'ellissoide su un cilindro tangente all'equatore, successivamente sviluppato su di un piano.

Carta di Mercatore

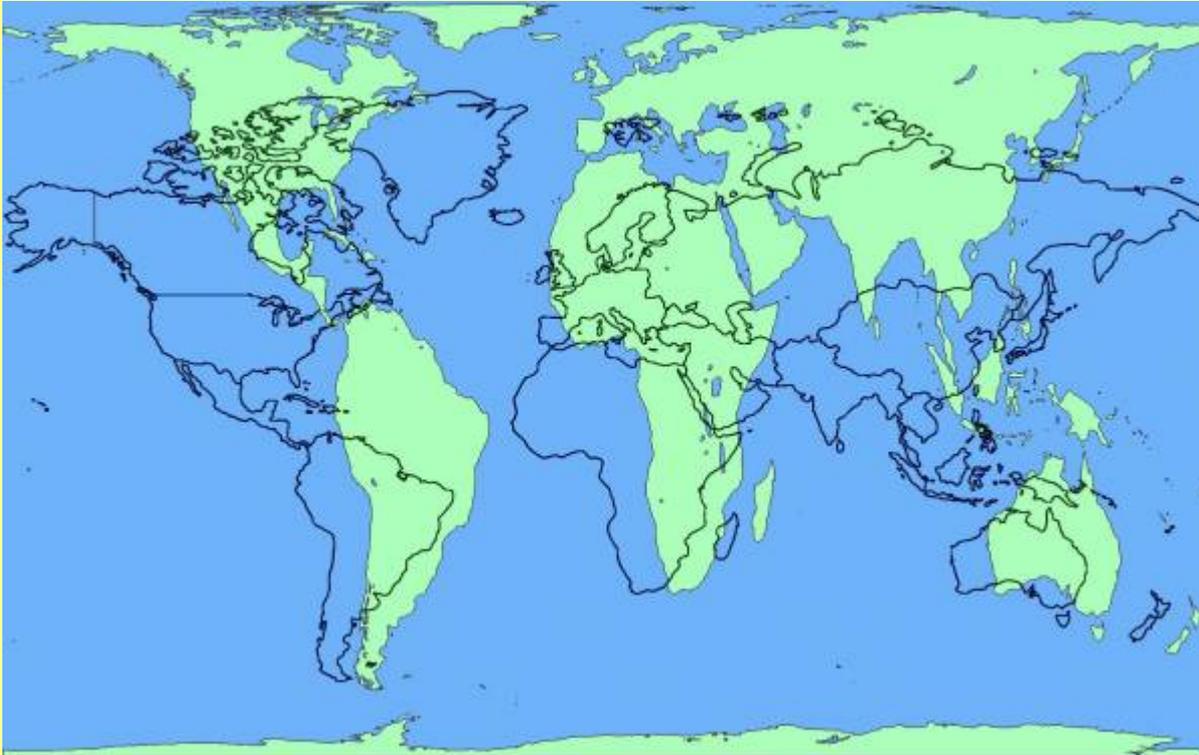


I meridiani, in questa proiezione sono rettilinei, paralleli ed equidistanti mentre i paralleli sono rettilinei, perpendicolari ai meridiani e posti tra loro a distanza crescente con l'allontanarsi dall'equatore, cioè con l'aumento della latitudine.

I limiti di questa rappresentazione sono l'impossibilità di rappresentare i poli e la maggiore dilatazione che hanno le regioni di maggiore latitudine rispetto a quelle più vicine all'equatore.

Carta di Mercatore

Le caratteristiche esposte determinano una progressiva esagerazione delle aree nelle zone polari. Ad esempio, la Groenlandia risulta nove volte più grande di quanto sia in realtà con un superficie paragonabile a quella del Sudamerica.



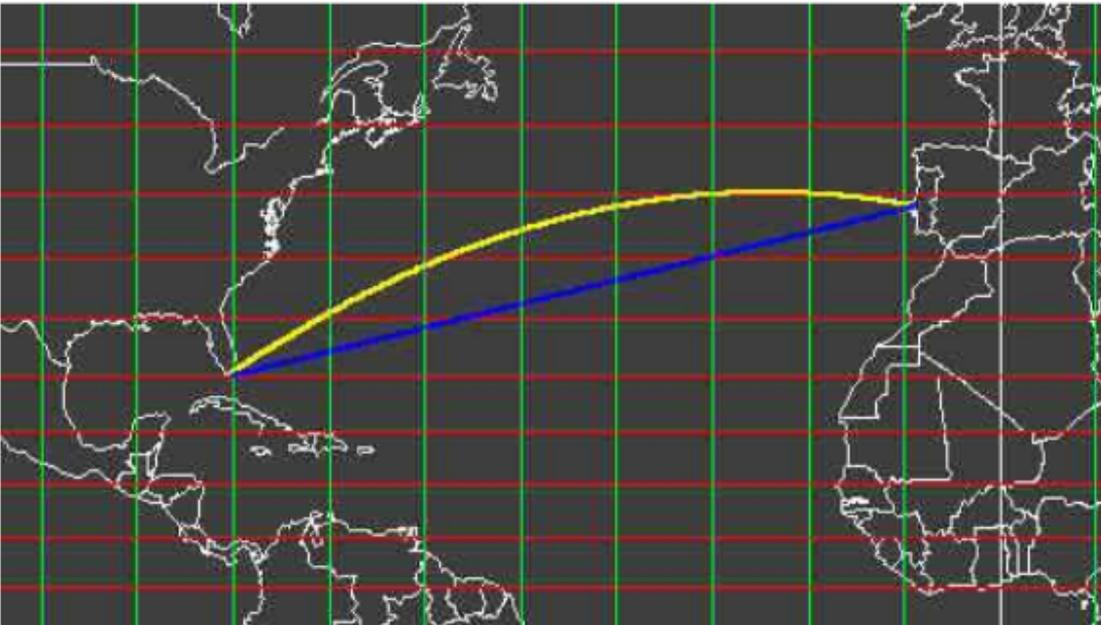
Le proiezioni di
Mercatore e di Peters a
confronto

Carta di Mercatore

In navigazione, tenendo una rotta costante (seguendo la bussola) si incrociano tutti i meridiani con lo stesso angolo percorrendo una curva (rotta **lossodromica**).

Tale rotta può essere disegnata sulla carta con una linea retta che a sua volta incrocerà i meridiani formando angoli uguali.

In questa maniera non si percorre la rotta più breve tra due punti ma per rotte brevi l'errore sarà minimo e cmq ripagato dalla praticità del carteggio.

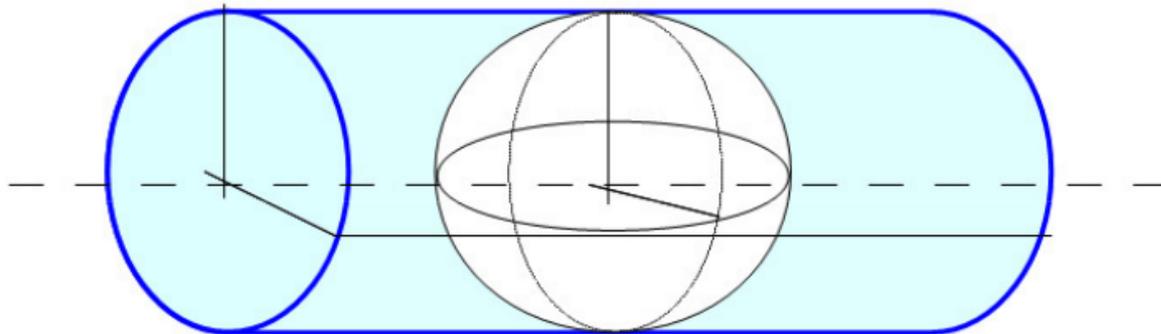


Linea gialla = Ortodromica

Linea blu = Lossodromica

La rappresentazione di Gauss

Rappresentazione conforme assimilabile ad una proiezione cilindrica inversa



- ideata da Karl F. Gauss (1777 – 1855)
- successivamente modificata da altri geodeti (Krüger, Boaga)
- utilizzata nel sistema cartografico internazionale UTM (Universal Transverse Mercator)
- utilizzata in molti sistemi cartografici nazionali (anche in Italia)

Proiezione conforme di Gauss/Trasversa di Mercatore



Questo tipo di rappresentazione è una proiezione cilindrica inversa e si ottiene proiettando i punti dal centro dell'ellissoide su un cilindro orizzontale tangente a un meridiano.

Solo il meridiano tangente al cilindro e l'equatore sono rettilinei e tra loro ortogonali.

L'equatore si trasforma nell'asse delle ascisse Est (X)

Il meridiano assunto come origine delle longitudini si trasforma nell'asse delle ordinate Nord (Y);

Lungo i paralleli le deformazioni sono minime in prossimità del meridiano centrale, mentre allontanandosi da tale meridiano le distanze aumentano con la stessa legge con cui aumentano nella proiezione di Mercatore normale (allontanandosi dall'Equatore)



UTM (Universal Transverse Mercator)

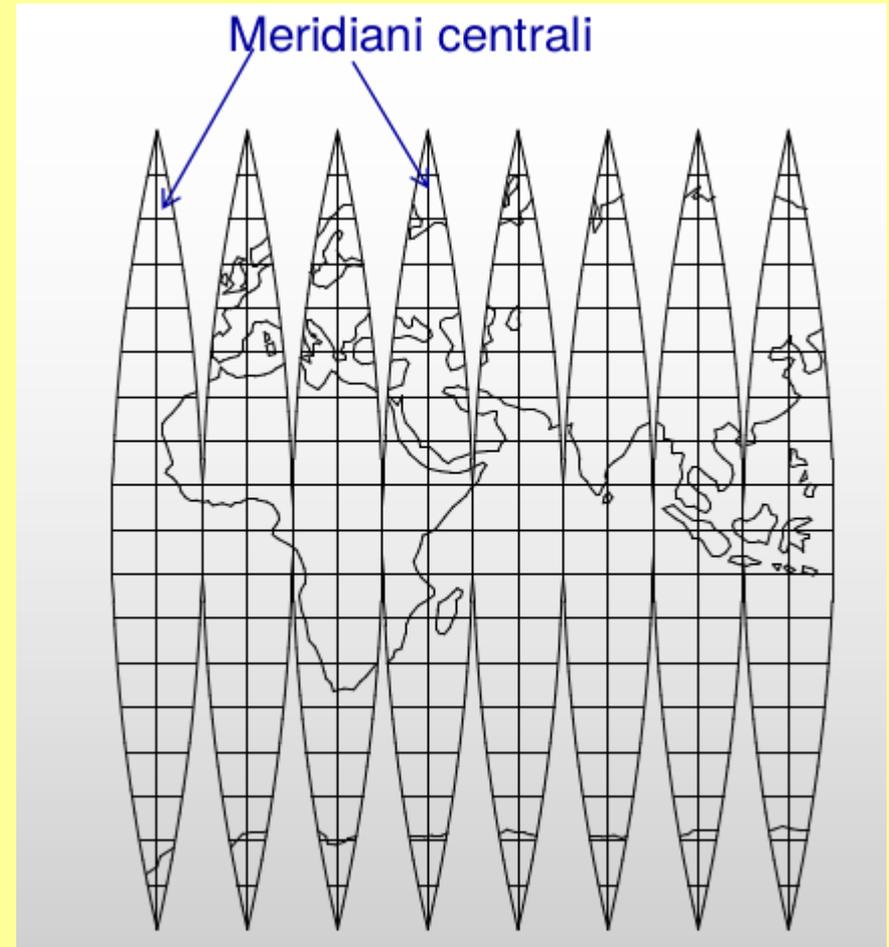
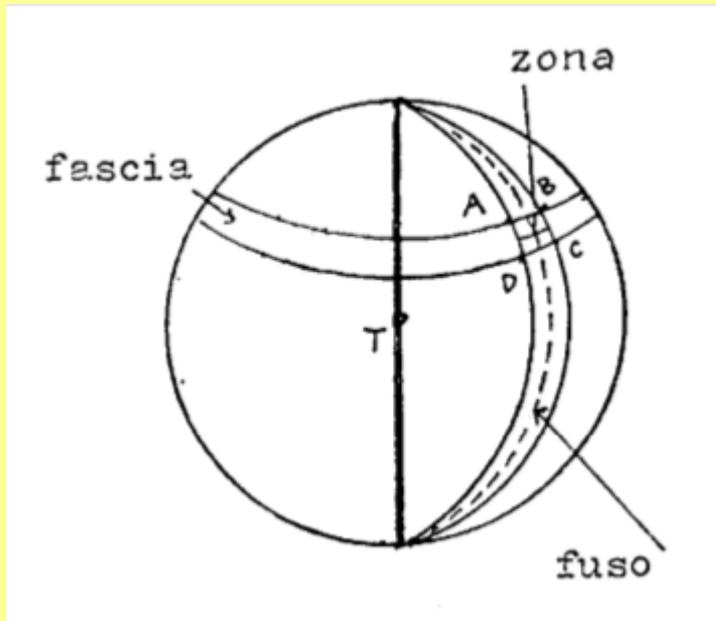
La superficie della Terra è stata divisa in 60 fusi, dell'ampiezza di 6° di longitudine, per ognuno dei quali è stato assunto un meridiano centrale tangente (secante) al cilindro di proiezione, diverso per ogni fuso.

Tali fusi sono numerati da 1 a 60 da ovest verso est a partire dall'antimeridiano di Greenwich (longitudine 180°)

Sono state distinte 20 fasce parallele all'equatore, di ampiezza uguale a 8° di latitudine. La superficie terrestre risulta così coperta con questa cartografia fino ai paralleli 80°N e 80°S

Per le calotte polari è stata assunta la proiezione stereografica U.P.S. (UNIVERSALE POLARE STEREOGRAFICA)

UTM (Universal Transverse Mercator)



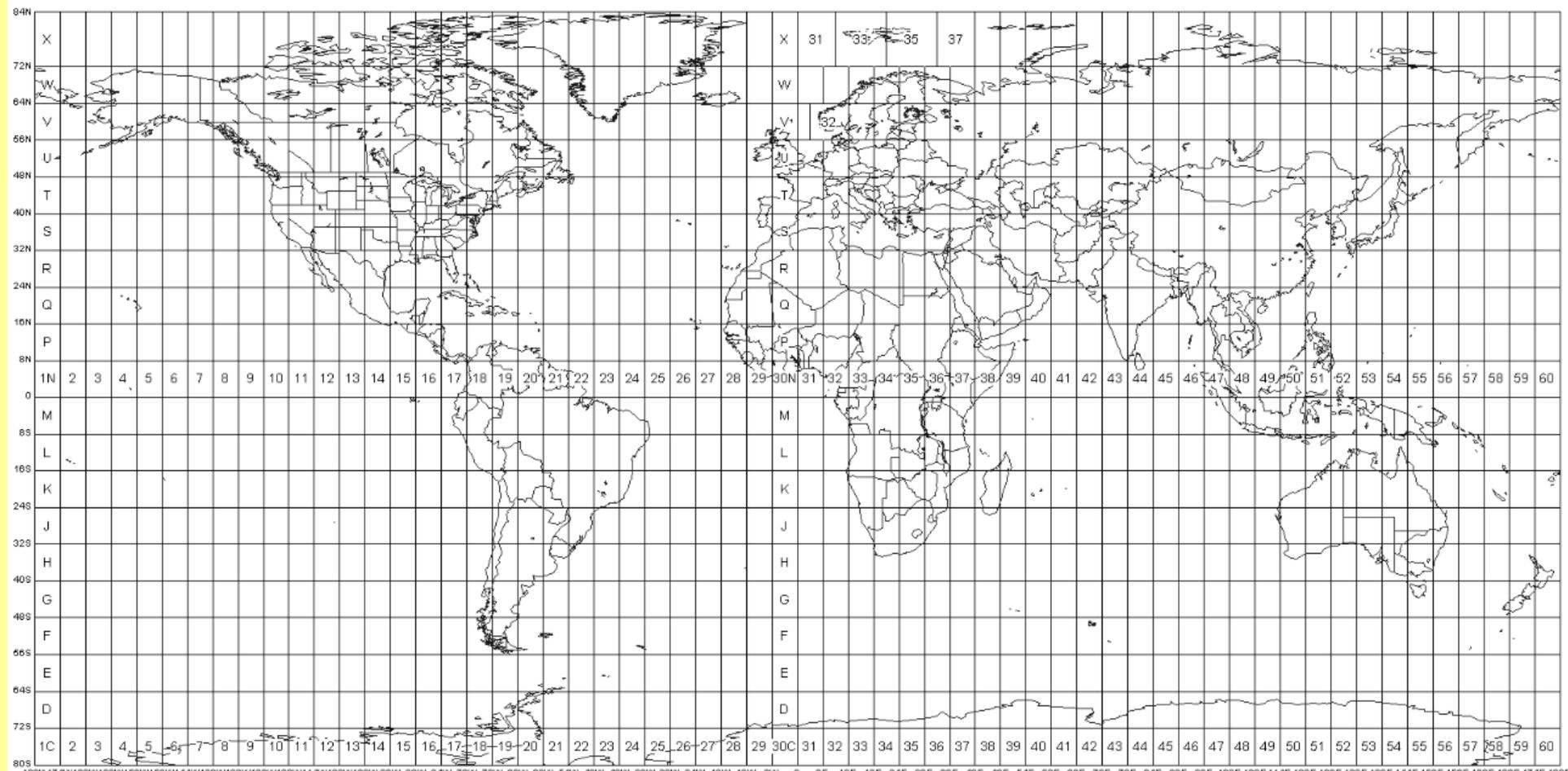
60 fusi – 20 fasce

L'intersezione di un fuso con
una fascia definisce una zona

Ogni fuso viene proiettato su un cilindro trasverso
avente come linea di tangenza il meridiano
centrale del fuso stesso

Universal Transverse Mercator

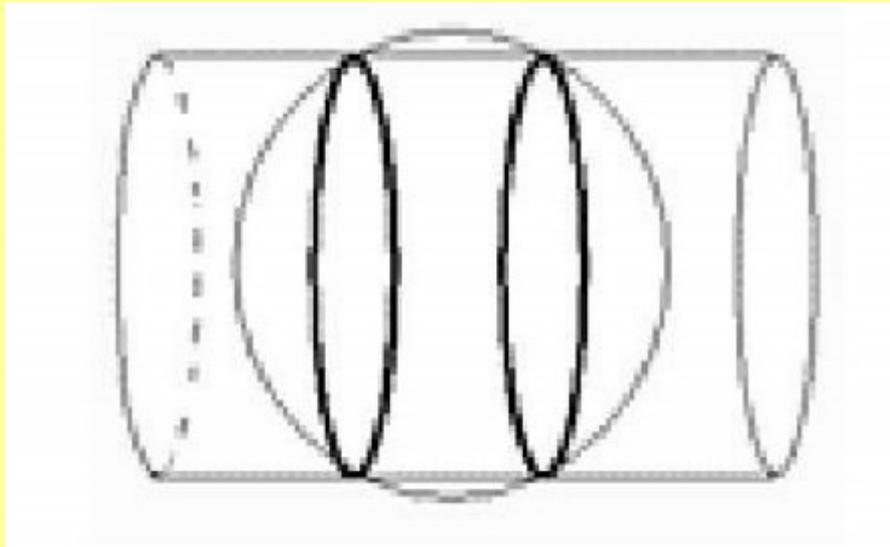
Fusi di 6° gradi di ampiezza



Fasce di 8° di latitudine

Fattore di scala e cilindro secante

L'impiego di un cilindro secante l'ellissoide, cioè avente un raggio minore di quello terrestre (pari al 99,96% del semiasse maggiore dell'ellissoide) consente di ridurre l'entità massima (in valore assoluto) della deformazione lineare nell'ambito del fuso di applicazione della proiezione.

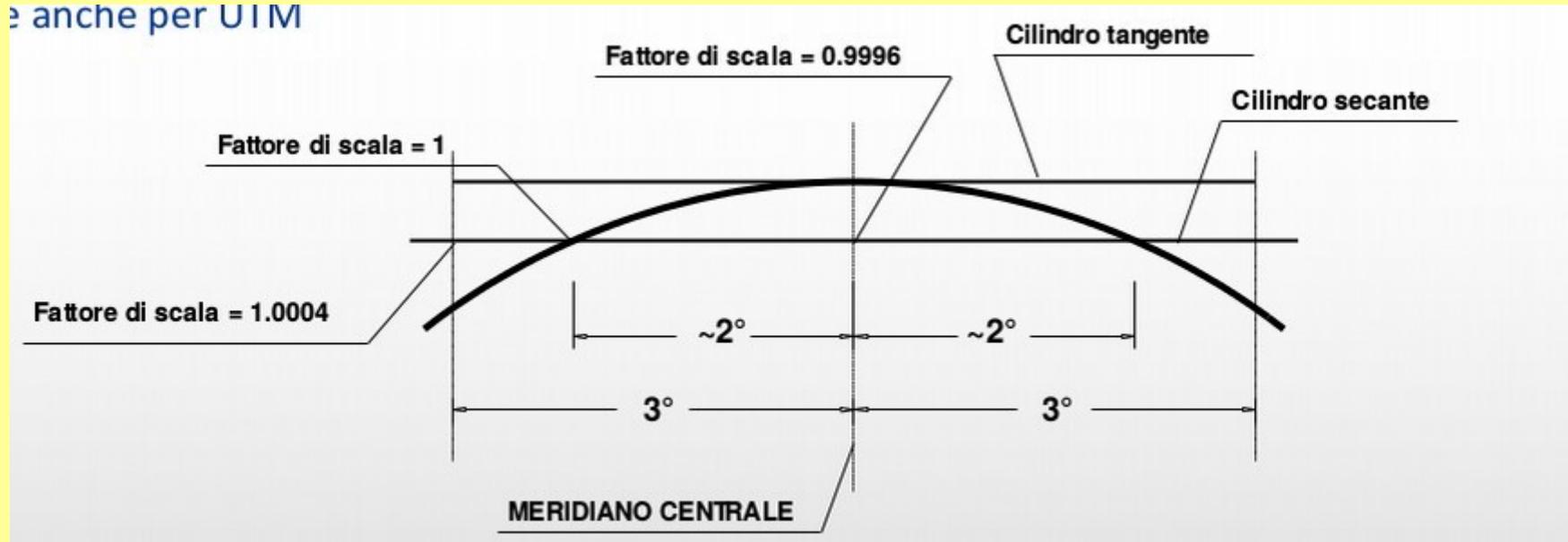


Fattore di scala e cilindro secante

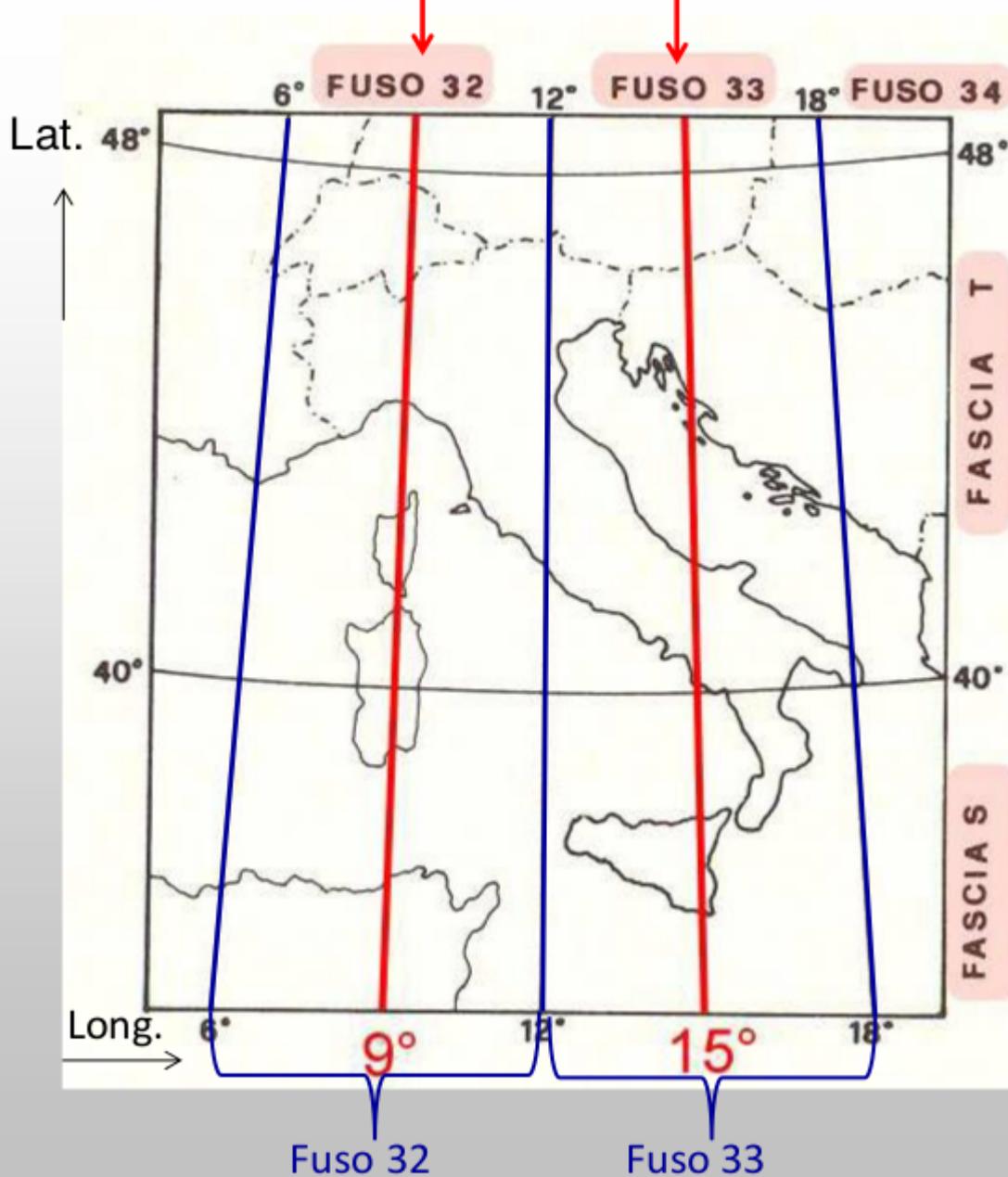
In pratica, a fronte di una lunghezza sulla superficie terrestre di 1 metro, avremo che questa sarà rappresentata sulla mappa da un segmento di lunghezza di 0,9996 m lungo il meridiano di riferimento e di 1,0004 m se ai margini del fuso.

Con il cilindro tangente, non avremmo accusato contrazioni, ed ai margini del fuso avremmo avuto un segmento di 1,0008 m (dilatazione).

e anche per UTM



Meridiani centrali dei fusi



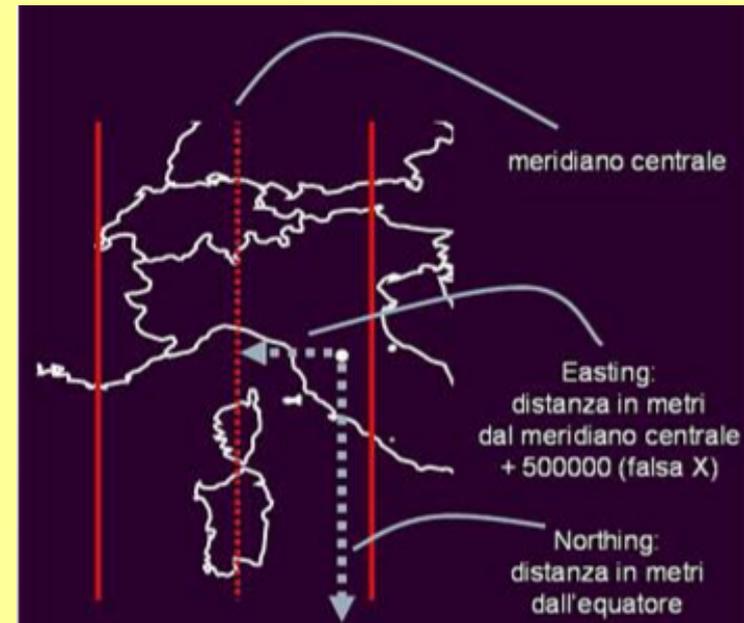
L'Italia si trova nei fusi 32 e 33 e 34 (Salento) e nelle fasce S e T; quindi risulta suddivisa nelle zone 32T, 32S, 33T, 33S, 34T, 34S

Il punto centrale di un fuso corrisponde all'intersezione del meridiano centrale, che in proiezione è una linea retta di direzione nord-sud, con l'equatore, che in proiezione è una linea retta di direzione est-ovest.

Il reticolato chilometrico è costruito a partire da queste due linee.

L'origine delle ascisse ha valore 500 Km (falsa origine) per evitare valori negativi anche quando si fa riferimento a punti ad ovest del meridiano. Il punto intersezione degli assi ha perciò coordinate chilometriche (500.000, 0), misurate in metri.

Il valore 500 km è stato scelto perché sufficiente a coprire l'ampiezza del fuso: si consideri infatti che un fuso di 6° ha un'ampiezza (in senso est-ovest) di circa 666 Km all'equatore e di 474 Km circa a 45° di latitudine di latitudine.



Datum - proiezione - sistema cartografico

I **sistemi cartografici** più diffusi in Italia utilizzano la proiezione conforme di Gauss (nota anche come UTM Universal Transverse Mercator):

Gauss-Boaga - Roma40

UTM - ED50

UTM - WGS84

UTM - ETRF2000 (dal febbraio 2012)

DATUM GEODETTICI			SISTEMI CARTOGRAFICI ASSOCIATI	
DENOMINAZIONE	ELISSOIDE	ORIENTAMENTO	DENOMINAZIONE	PROIEZIONE
Nazionale (Roma 40)	Internazionale (Hayford)	Roma Monte Mario	Gauss-Boaga	Conforme di Gauss
European Datum 1950 (ED50)	Internazionale (Hayford)	Posdam	Universal Transverse Mercator	Conforme di Gauss
World Geodetic System (WGS84)	WGS84	Geocentrico	Universal Transverse Mercator	Conforme di Gauss

ETRF2000 GRS80 Geocentrico UTM Conforme di Gauss

EPSG - European Petroleum Survey Group

Il database geodetico denominato EPSG (European Petroleum Survey Group), mantenuto aggiornato da OGP (Int. Ass. of Oil and Gas Producers), indicizza e cataloga i SR di tutto il globo e ne registra i parametri principali nonché gli algoritmi per le principali trasformazioni di coordinate.

Si può scaricare gratuitamente all'URL:
<http://www.epsg.org/>

[About us](#) / [About IOGP](#)



About us

About IOGP

Vision, mission & objectives

Some accomplishments

Milestones

How we are funded

Our members

About IOGP

The International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) is the voice of the global upstream industry. Oil and gas continue to provide a significant proportion of the world's energy to meet growing demands for heat, light and transport.

Our Members produce more than a third of the world's oil and gas. They operate in all producing regions: the Americas, Africa, Europe, the Middle East, the Caspian, Asia and Australia.

We serve industry regulators as a global partner for improving safety, environmental and social performance. We also act as a uniquely upstream forum in which our Members identify and share knowledge



About IOGP

Wherever you are...

Wherever you go...

Whatever you do... chances are you're relying on oil and gas for heat, light,



What is new?

Online Registry

The current version of the Online Registry which includes all recent updates (version 8.9.2, 2016-04-06)

Download Dataset

Download Dataset (version 8.9, 2016-02-15)

Change Request

Suggest a data change.

About the EPSG Dataset

The IOGP's EPSG Geodetic Parameter Dataset is a collection of definitions of coordinate reference systems and coordinate transformations which may be global, regional, national or local in application.

The primary EPSG Dataset is maintained in the [online registry](#), from which data may be accessed through a graphic user interface or through a service interface. The online registry contains the most current data. The Registry GML schema files are available [here](#).

Approximately twice a year snapshots of this data are also made available through files downloadable from here. The downloadable Dataset is in the following formats: MS Access, MySQL, Oracle, PostgreSQL. Area polygons are downloadable as a Shapefile. To download these files then you need to log in (requires having previously registered) and then go to the [Download Dataset](#) section.

The EPSG Geodetic Parameter Dataset is maintained by the Geodesy Subcommittee of the IOGP Geomatics Committee. For more information about the Geomatics Committee please visit

About registration

To gain access to the EPSG data through these web pages, you must agree to the [Terms of Use](#) by [registering](#) on this site. Once [logged in](#), you may also subscribe to updates and make change requests.

To register, you must enter your email address (visible to IOGP) and password (not visible). This information is not used outside this site, nor is it passed on to any third party.



REPORTS for the EPSG Geodetic Parameter Data Set



Version: 8.0 Date: 10 August 2012

Guidance notes for users of EPSG REPORTS to the left:

Geodetic Transformation Reports

Transformations
summary

Single
transformations

Concatenated
transformations

Coordinate Reference System Reports

Geographic
CRS summary

Projected CRS
summary

Vertical CRS
summary

Engineering
CRS summary

Compound CRS
summary

Geographic
CRS detail

Projected CRS
detail

Vertical CRS
detail

Engineering
CRS detail

Ancilliary Data Reports

Geodetic Datum

Vertical Datum

Engineering Datum

Angle Units

Coordinate Systems

Ellipsoids

Length Units

Conversions / Map Projections

Prime Meridians

Scale Units

Coordinate Operation
Methods summary

Area of Use

Change Information

Changes this release

Changes all releases

Changes still outstanding

The reports available in this dataset offer a wide variety of reporting capabilities. These include searches "by area" specified by the user as well as reports on various ancillary supporting geodetic data. Geographical coordinate reference systems (Geog CRS) are also searchable by Geog CRS name, whilst Geodetic Transformations are also searchable by source coordinate reference system. See the associated README file for more information on the reports available and details of search criteria. Reports, once run, may be viewed, printed or exported to files, as appropriate.

If you wish to enter new data, this must be done via the interactive forms. A button is provided below to access those forms.

Reports accessed by the buttons to the left show valid data. Reports on deprecated records may be accessed through the button below.

EXIT database
and MS Access

Go to Forms

Go to Deprecation
Reports

Return to
Welcome Page



# 1	Code: 4326	CRS Name: <u>WGS 84</u>	CRS kind: geographic 2D			
<i>Geodetic Datum:</i>	World Geodetic System 1984	<i>CS Axes:</i>				
<i>Epoch:</i>	1984	<u>Order</u>	<u>Axis Name</u>	<u>Abbr</u>	<u>Axis Units</u>	<u>Orientation</u>
<i>Prime Meridian:</i>	Greenwich	1	Geodetic latitude	Lat	degree (supplier to define representation)	north
<i>Ellipsoid:</i>	WGS 84	2	Geodetic longitude	Long	degree (supplier to define representation)	east
<i>semi-major axis (a) =</i>	6378137	<i>CS remarks:</i>	Coordinates referenced to this CS are in degrees. Any degree representation (e.g. DMSH, decimal, etc.) may be used but that used must be declared for the user by the supplier of data. Used in geographic 2D coordinate reference systems.			
<i>inverse flattening (1/f) =</i>	298,257223563	<i>Datum origin:</i>	Defined through a consistent set of station coordinates. These have changed with time: by 0.7m on 29/6/1994 [WGS 84 (G730)], a further 0.2m on 29/1/1997 [WGS 84 (G873)] and a further 0.06m on 20/1/2002 [WGS 84 (G1150)].			
<i>Datum remarks:</i>	EPSG's WGS 84 datum has been the then current realisation. No distinction is made between the original WGS 84 frame, WGS 84 (G730), WGS 84 (G873) and WGS 84 (G1150). Since 1997, WGS 84 has been maintained within 10cm of the then current ITRF.					
<i>Datum info. source:</i>	NIMA TR8350.2 June 2004 revision. http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html and http://gis-lab.info/docs/nima-tr8350.2-addendum.pdf					
<i>CRS scope:</i>	Horizontal component of 3D system. Used by the GPS satellite navigation system and for NATO military geodetic surveying.					
<i>CRS remarks:</i>						
<i>CRS information source:</i>	EPSG. See 3D CRS for original information source.	<i>Data source:</i>	OGP	<i>Revision date:</i>	27-ago-07	<i>Change id:</i> 2002.151 2003.370 2006.810 2007.079
<i>CRS area of use:</i>	World.					

Bibliografia

- Berti C., Cenni di geodesia, corso di TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA a.a. 2010-2011, Univ. Firenze, http://www.geografia-applicata.it/wordpress/wp-content/uploads/2010/09/02_Geodesia.pdf
G.U. del 27/02/2012, Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale.
- Iliffe J., Datums and map projections for remote sensing, GIS, and surveying, Whittles, 2000.
- Radicioni F., Datum e coordinate nella Geodesia, Dispense del Corso di Topografia, AA 2008/09, Univ. Perugia.
- Robinson H. et alii, Elements of Cartography, Wiley & Sons, New York, 1995.
- Sestini A., Cartografia generale, Patron, Bologna, 1981.
- Surace L., La georeferenziazione delle informazioni territoriali, da: GEOforUS, gennaio 2010.
- Turrini M. C., Cartografia ufficiale mondiale e italiana, Università di Ferrara – Corso di CARTOGRAFIA TEMATICA.