

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**.

Sistema di Riferimento - SR

Grafico cartesiano

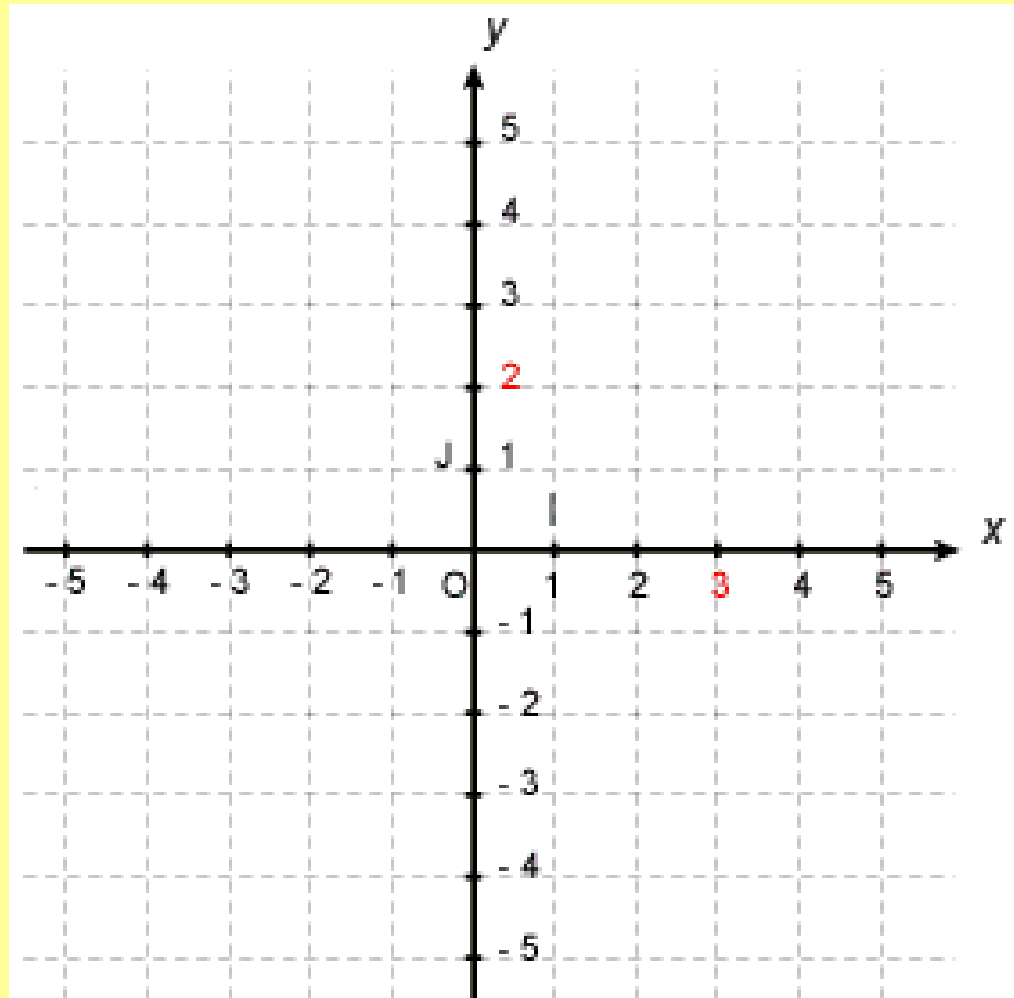
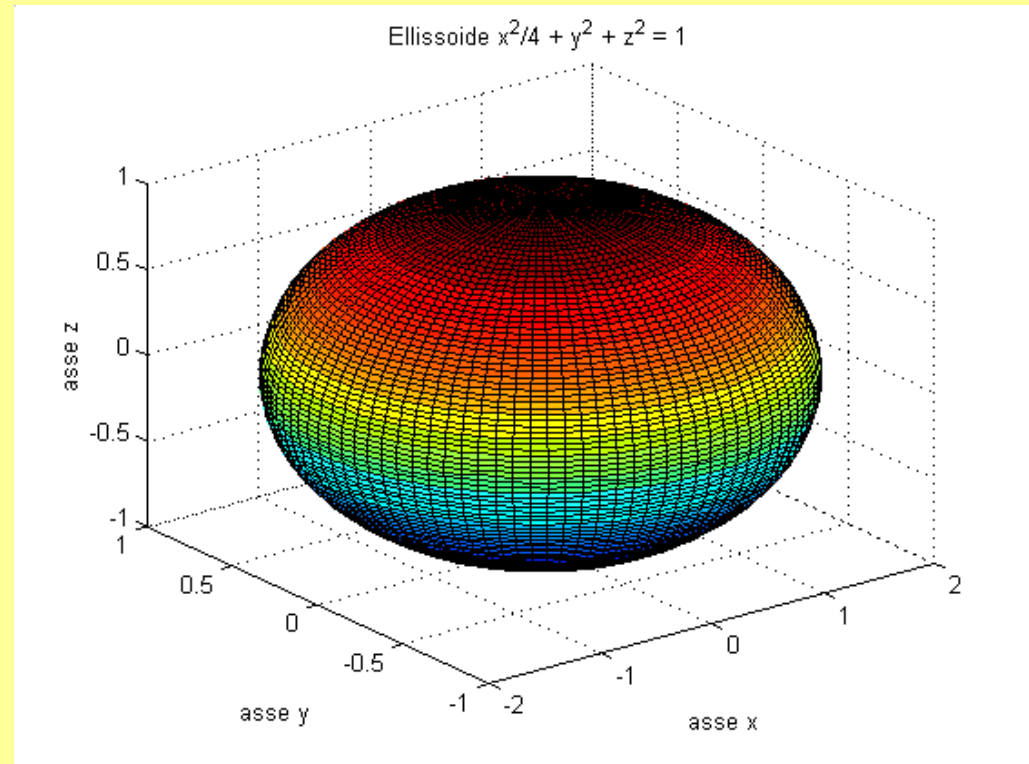
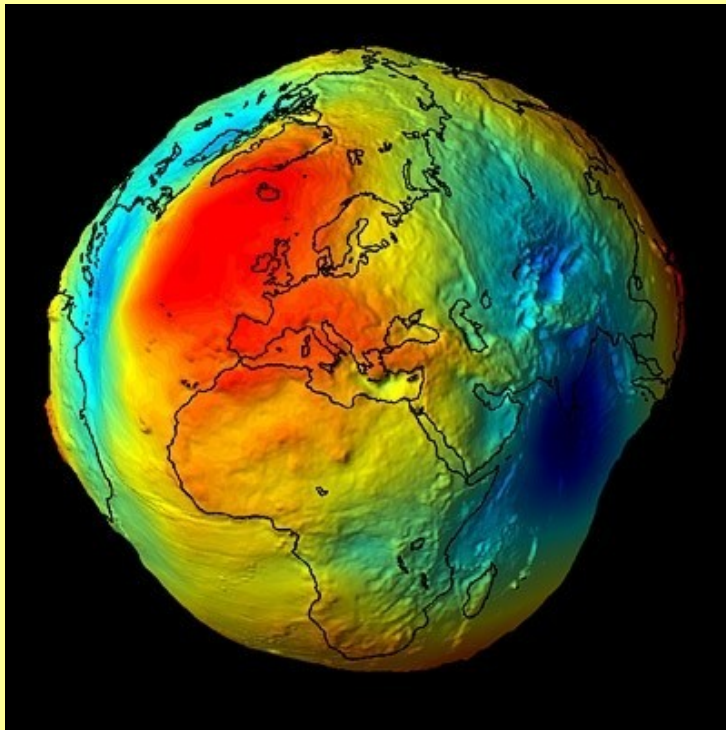


Figura 1

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.

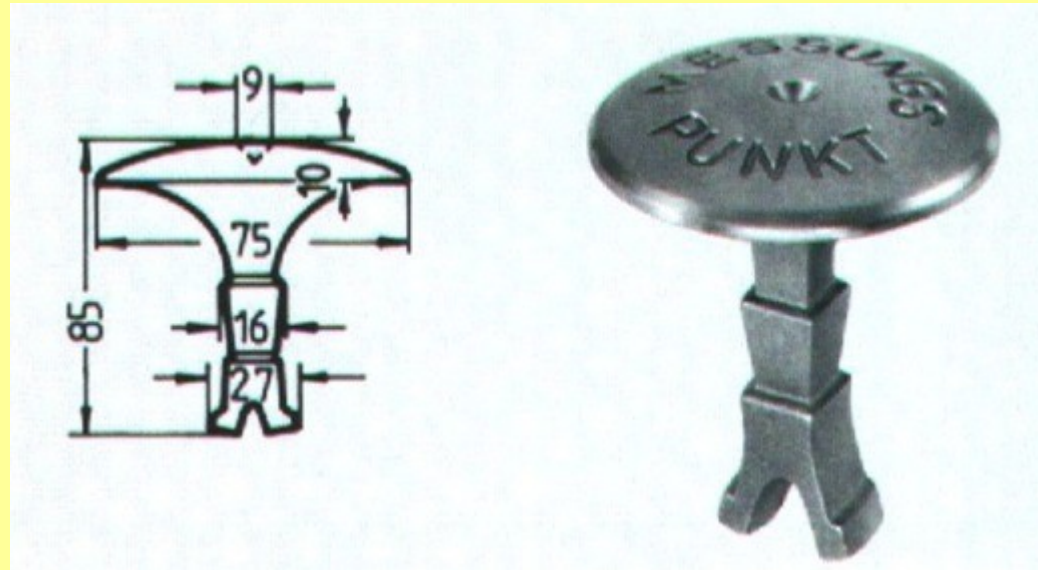
L' ellissoide è la forma geometrica della Terra. La Terra è schiacciata ai poli. La differenza fra il raggio equatoriale e polare è pari a circa 21.5 km. e dipende dall'ellissoide che viene considerato.

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

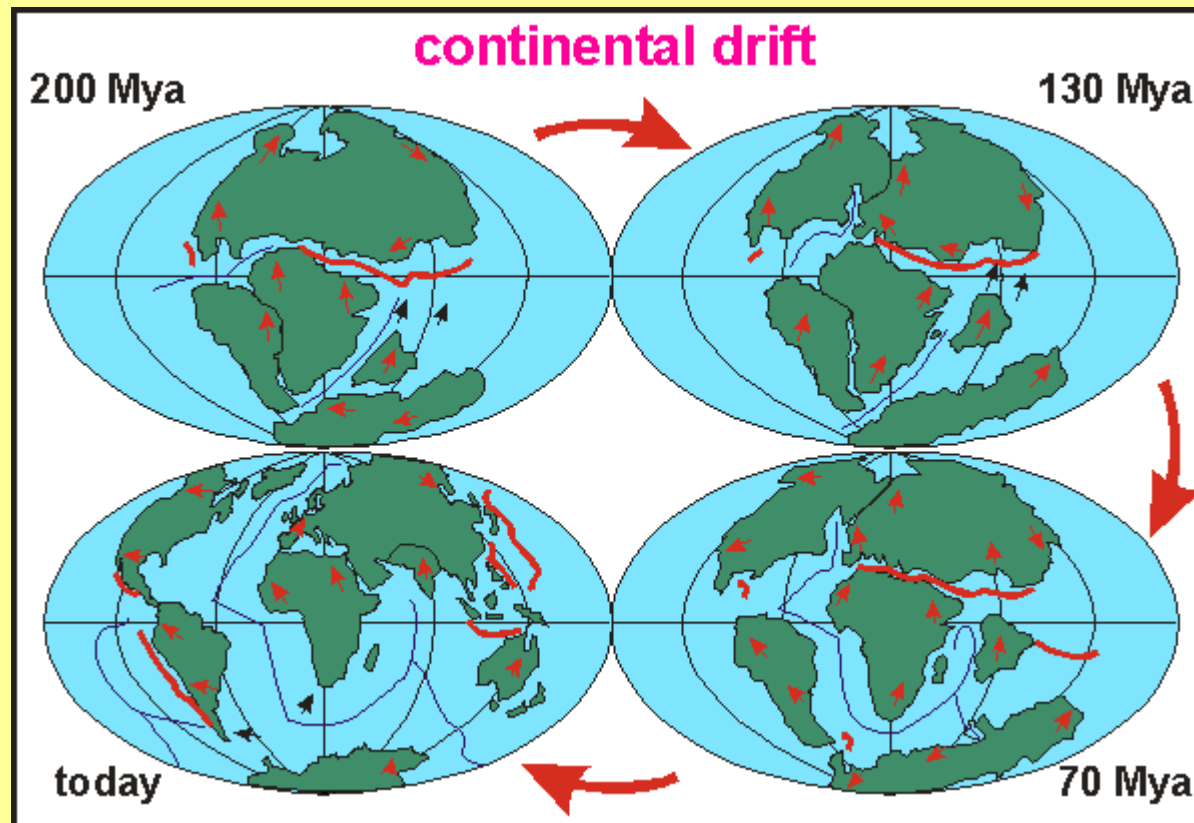


Materializzazione del punto "D"

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.

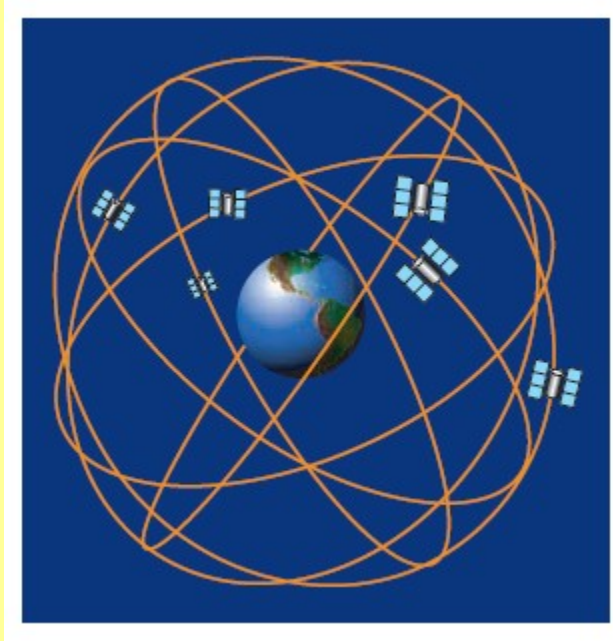
In realtà, le **coordinate variano nel tempo**, per effetto delle deformazioni della crosta terrestre - **deriva dei continenti**, fenomeni sismici, ecc. - ma lo fanno molto **lentamente**.



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.

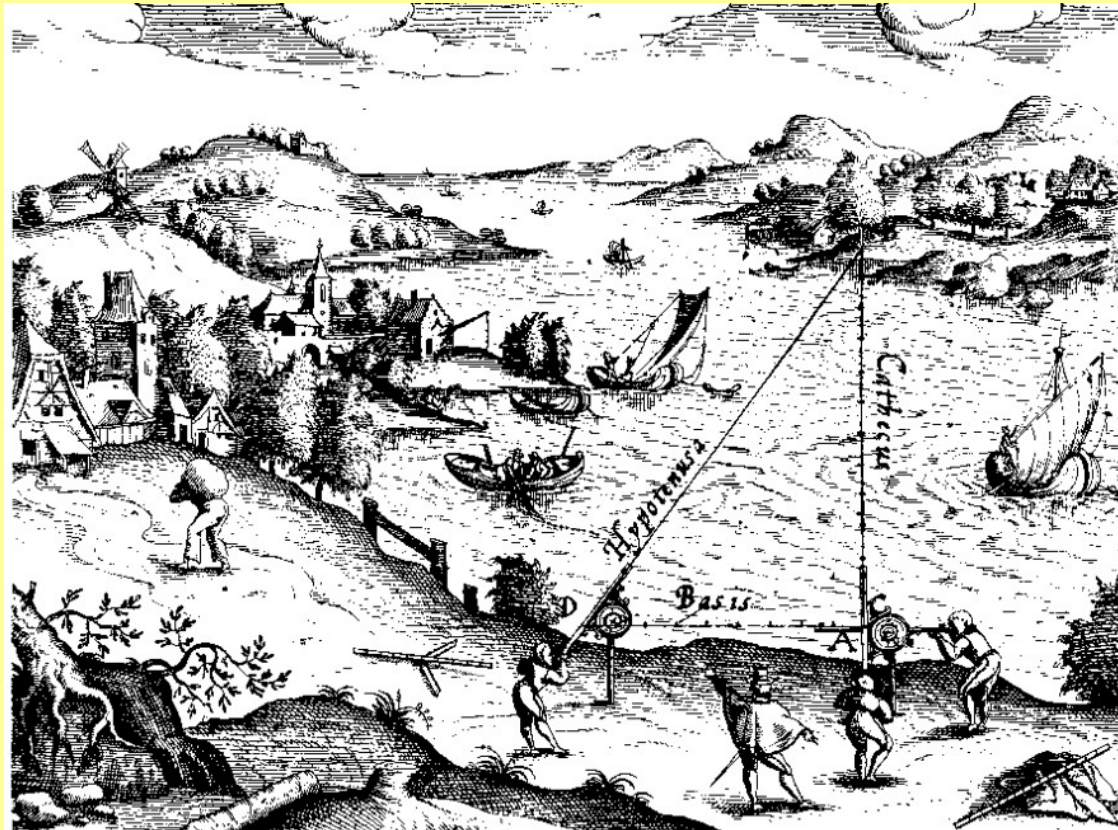


Nella **geodesia classica** i datum venivano impiegati solo per la **planimetria**, perché l'altimetria veniva trattata a parte. Si parla in questo caso di **horizontal datum**.

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 geoide.

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 .

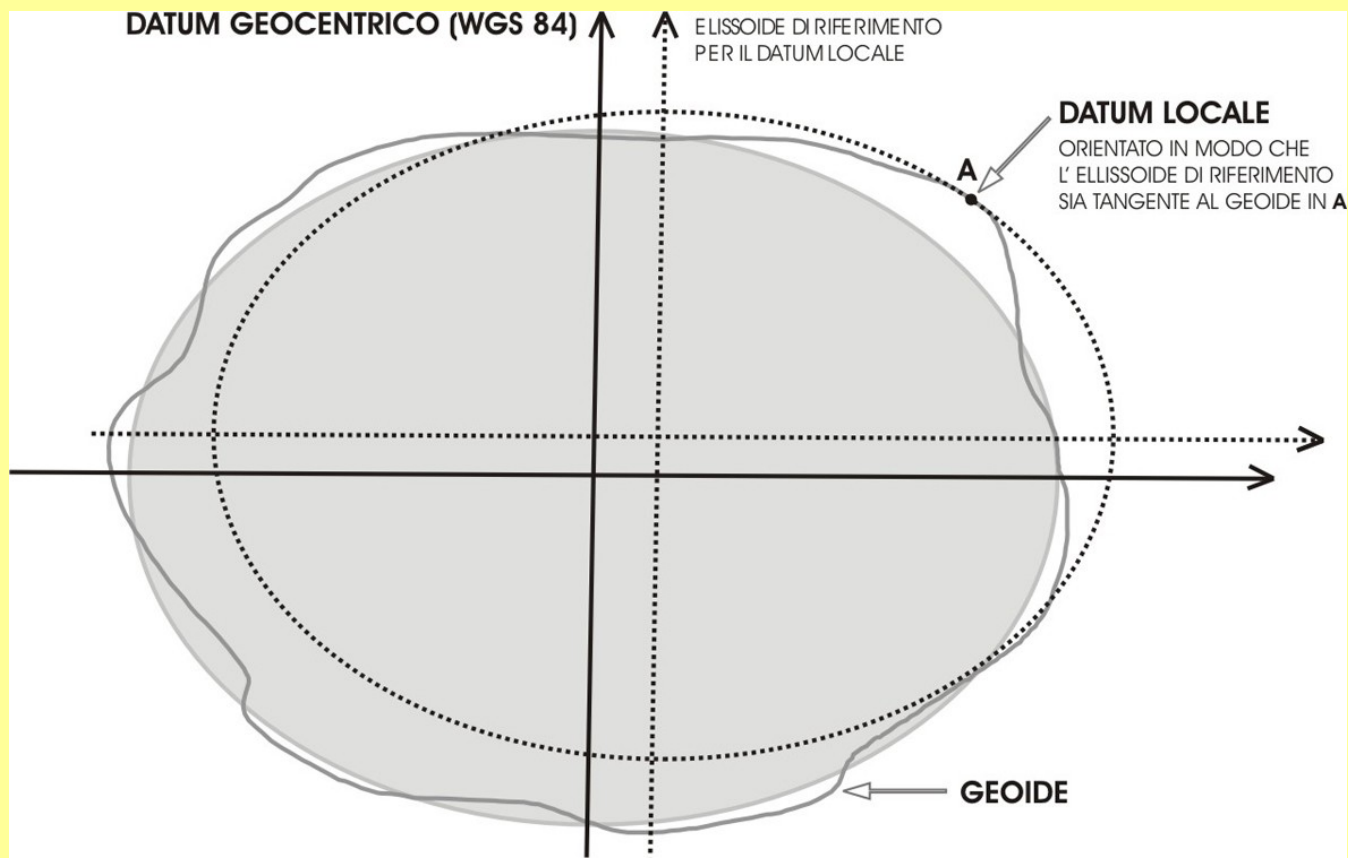


Datum nella geodesia classica

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**.

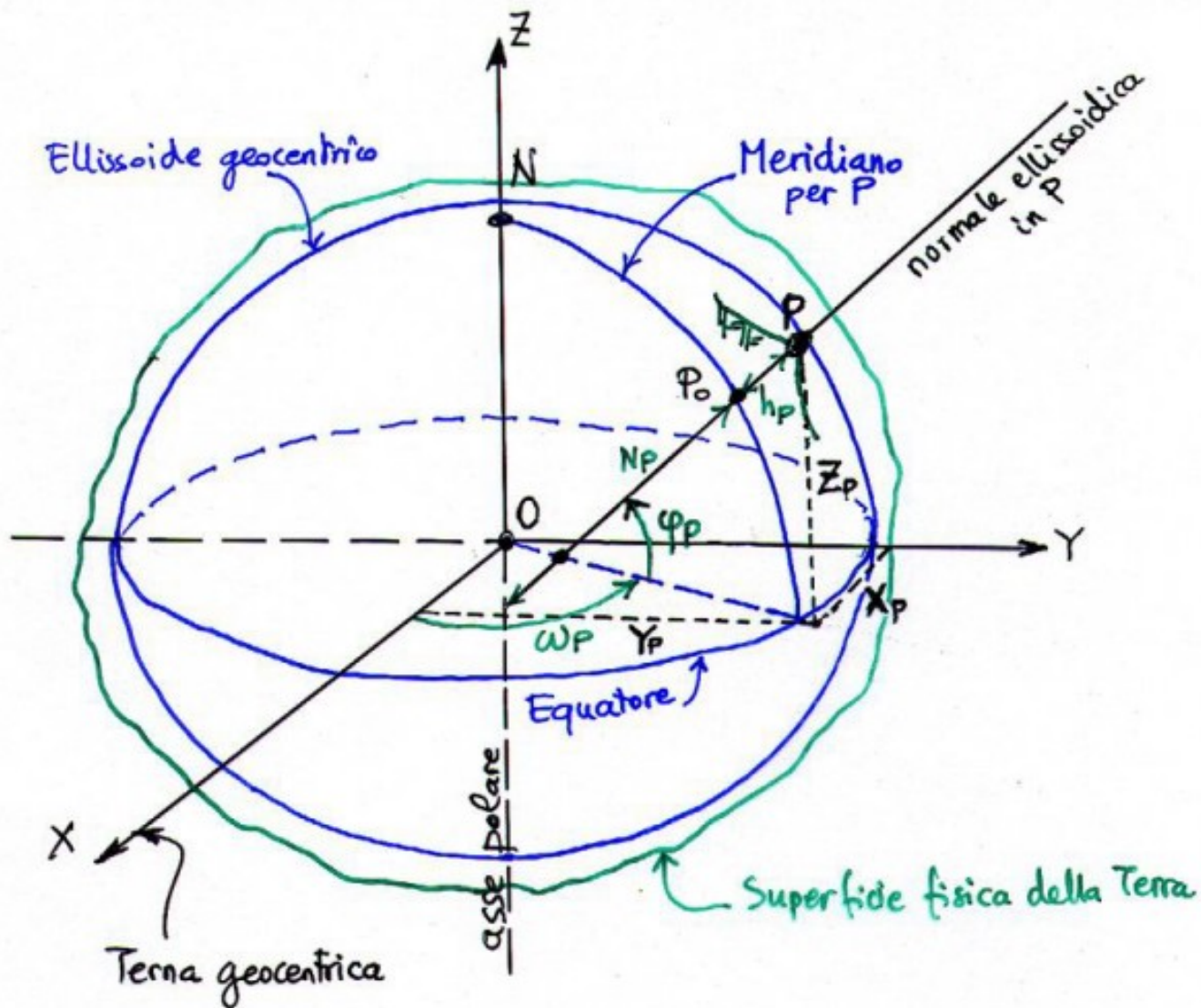
Nella geodesia satellitare è indispensabile ragionare ed eseguire calcoli alla **scala globale**.

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.

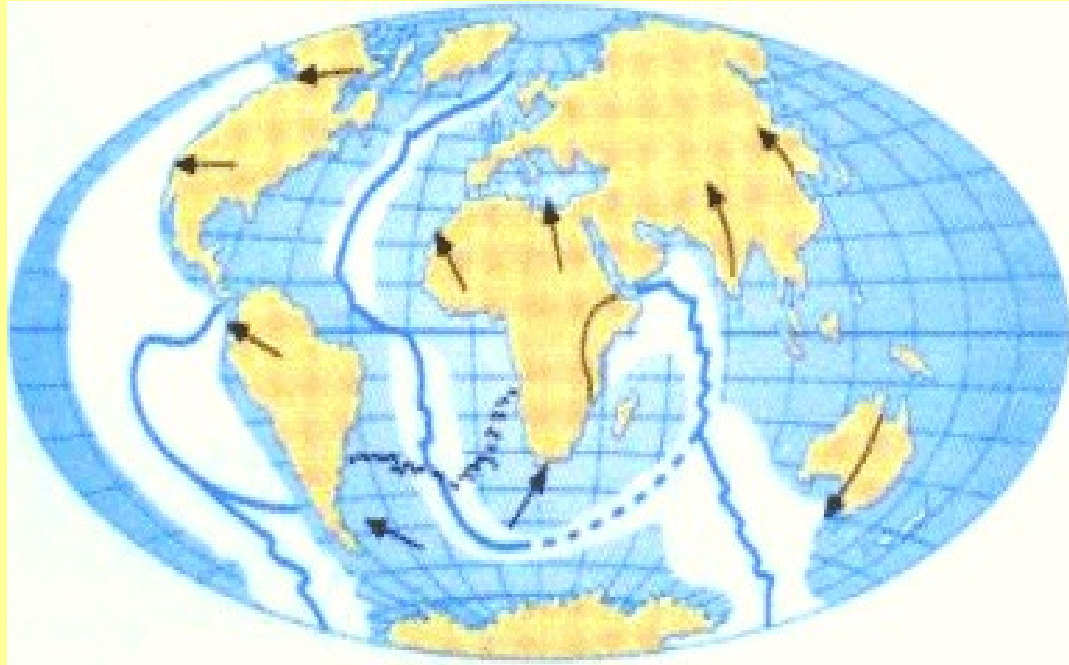
Reti statiche o passive: sono reti geodetiche simili a quelle tradizionali, costituite da **punti materializzati sul terreno** o su manufatti e privi di strumentazione. Il rilievo di queste reti richiede l'effettuazione di una campagna di misure: i tecnici vanno a occupare i punti della rete con ricevitori 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.

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).



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.

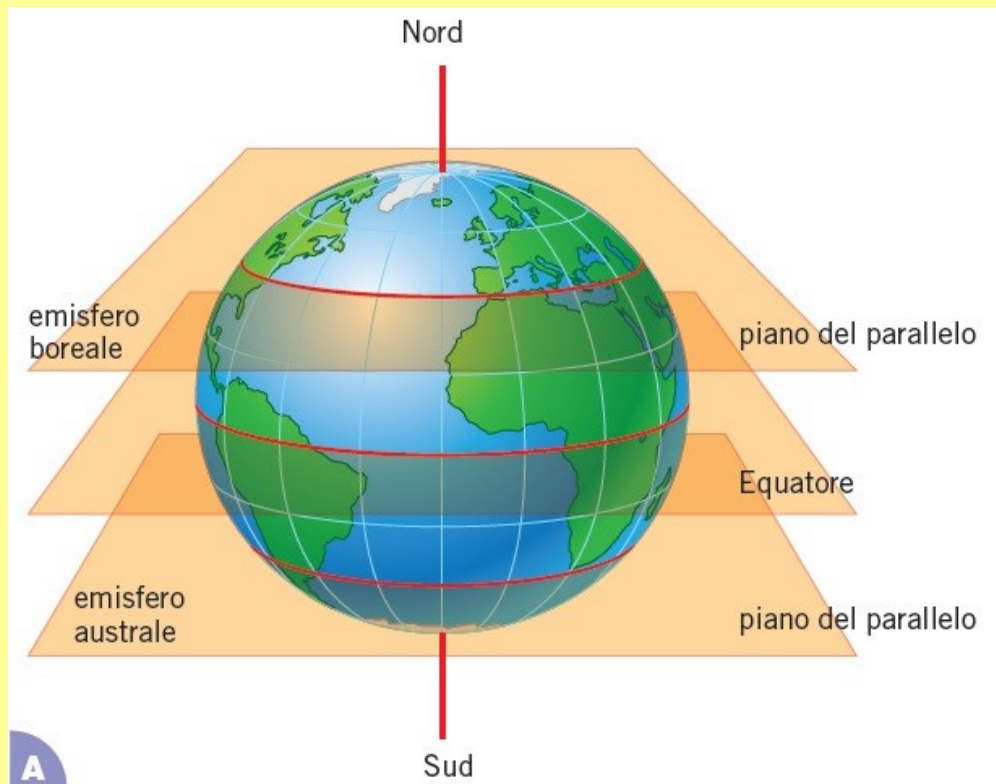
I paralleli e meridiani formano il reticolato geografico

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.

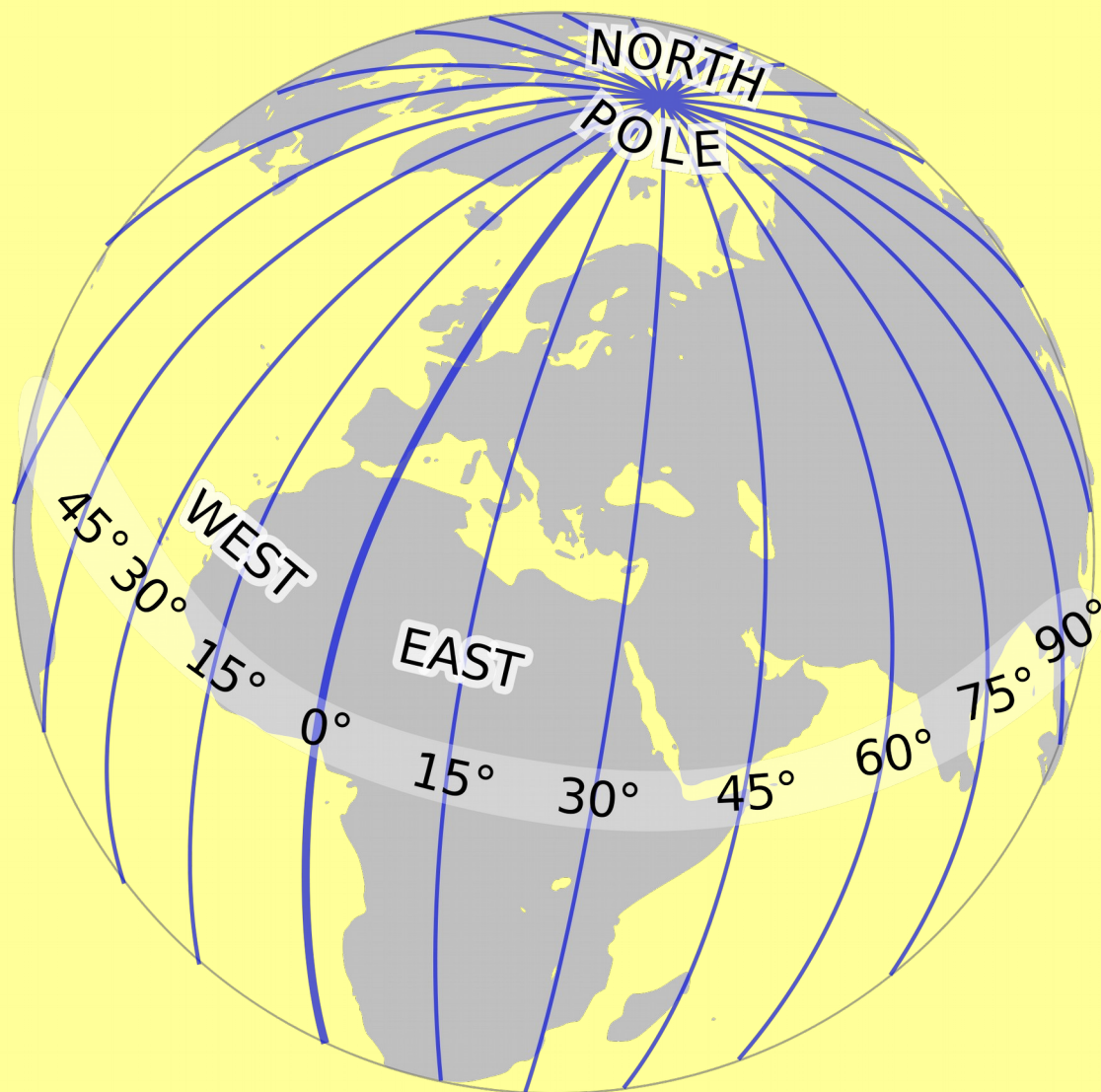
I paralleli e meridiani formano il reticolato geografico

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.



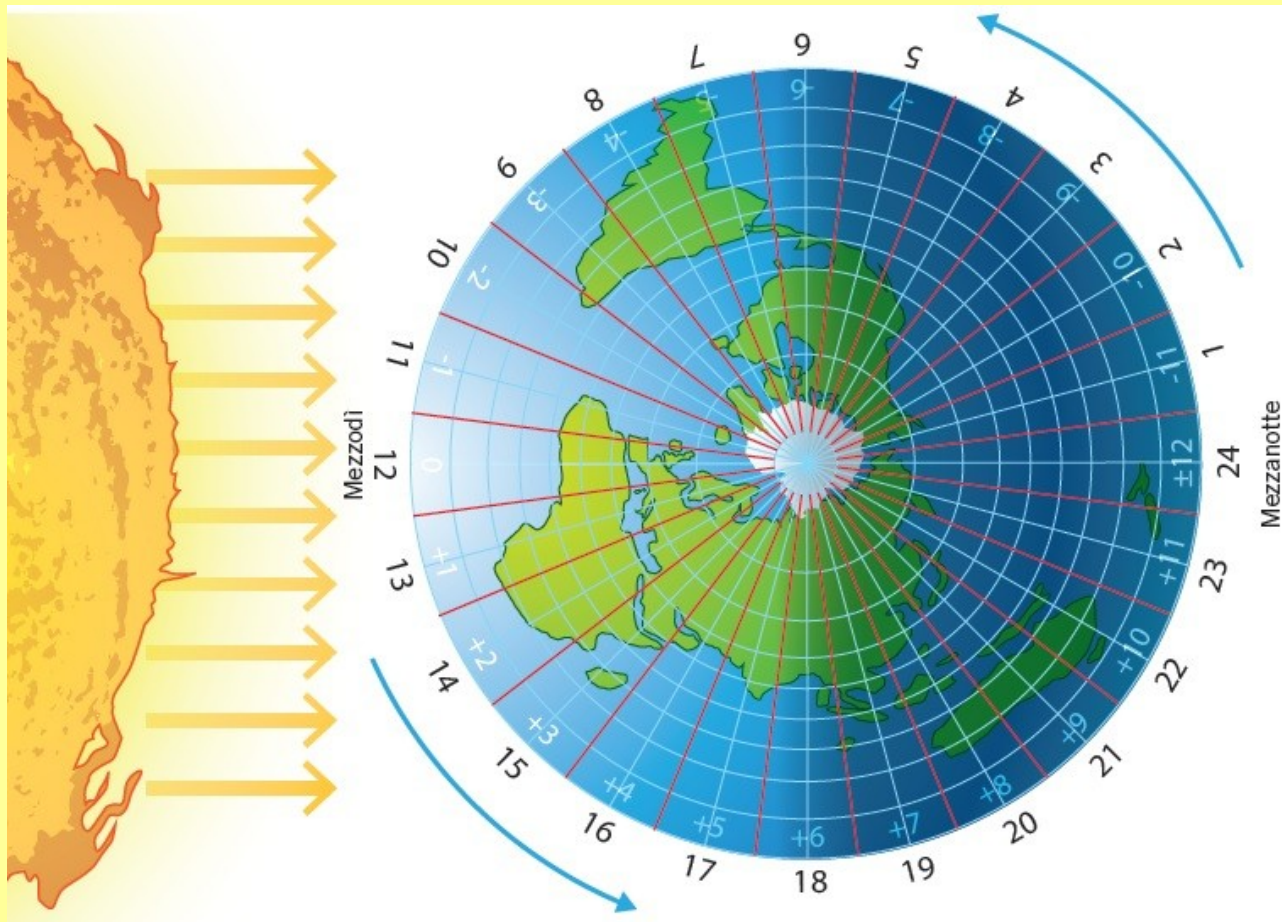
Intersecando la superficie terrestre con piani che comprendano l'asse terrestre e che passino per entrambi i poli, si individuano dei cerchi tutti uguali: ciascuno è formato da un **meridiano** e da un antimeridiano. Quello che passa per Greenwich è il **meridiano fondamentale**.

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.



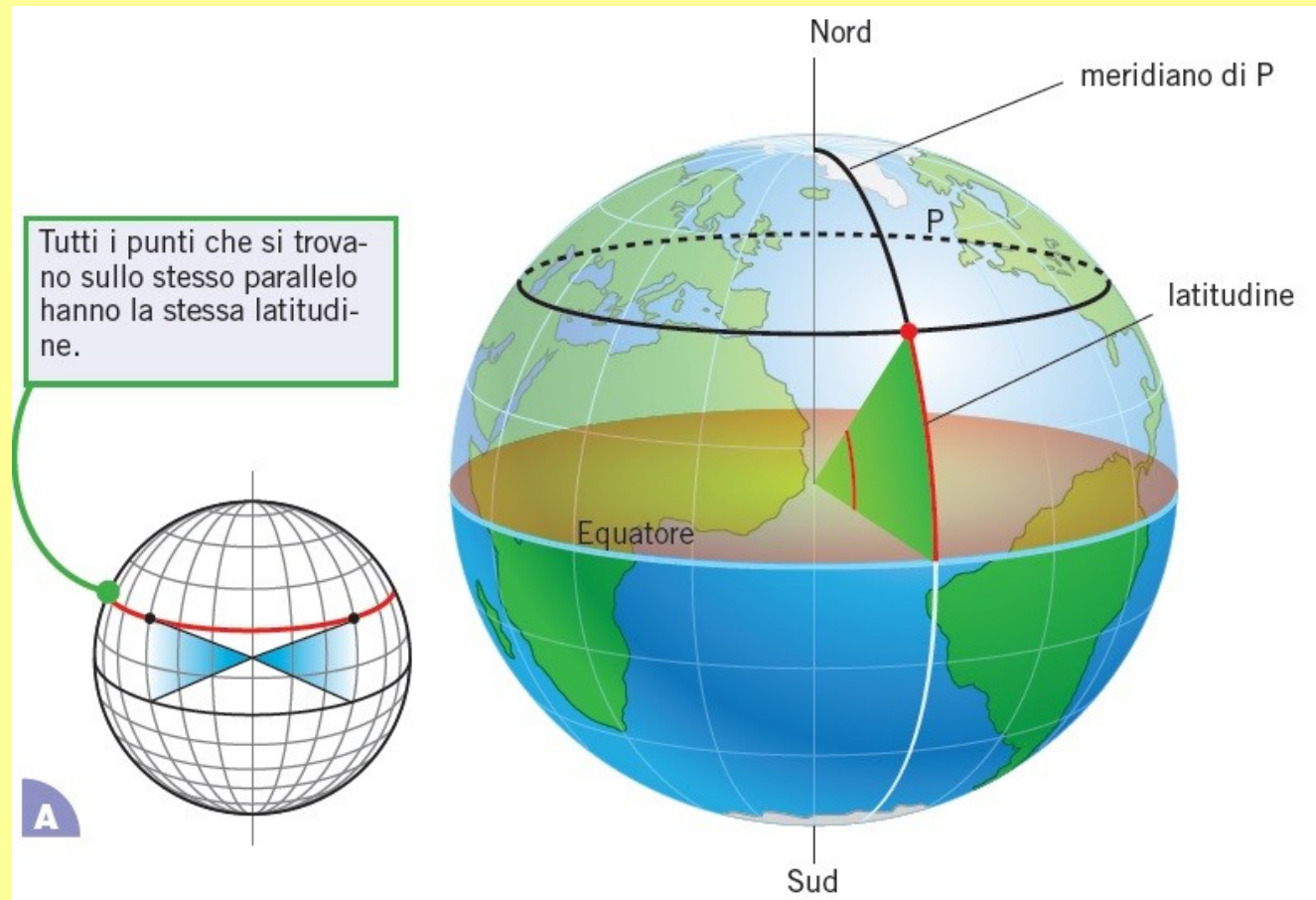
La Terra è divisa in 24 fusi orari

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

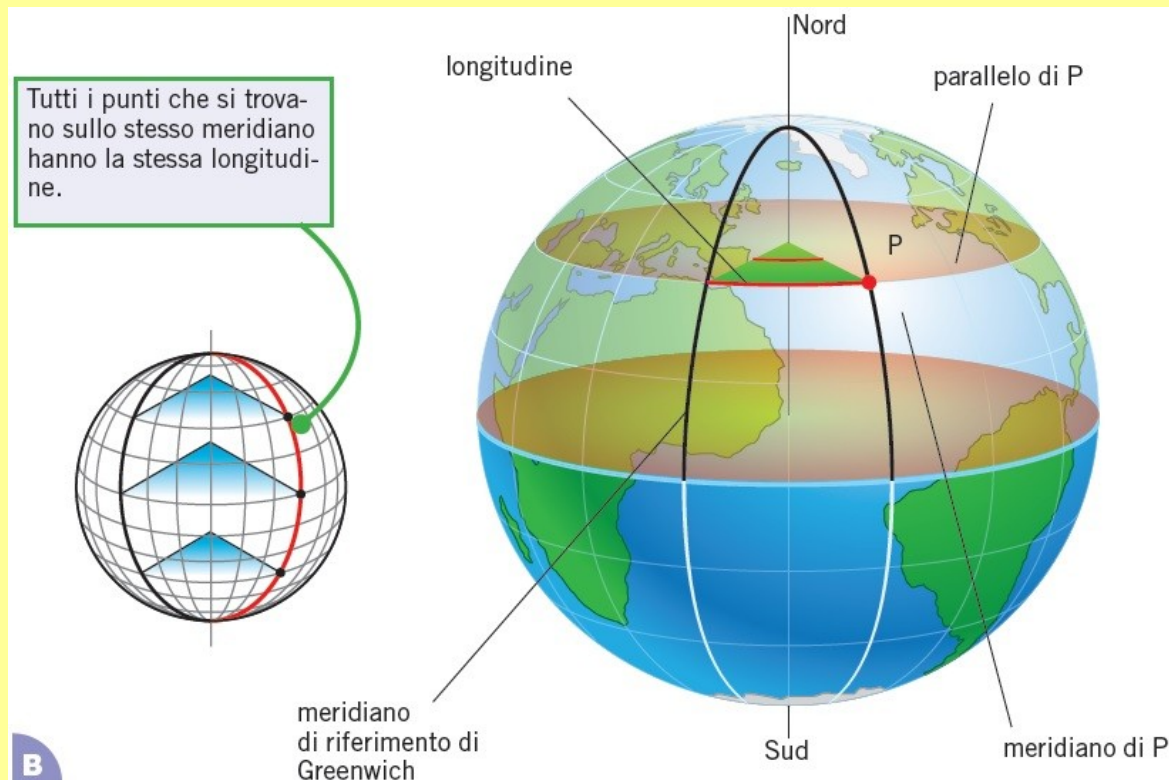
Le coordinate geografiche sono la latitudine, la longitudine e l'altitudine.



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?

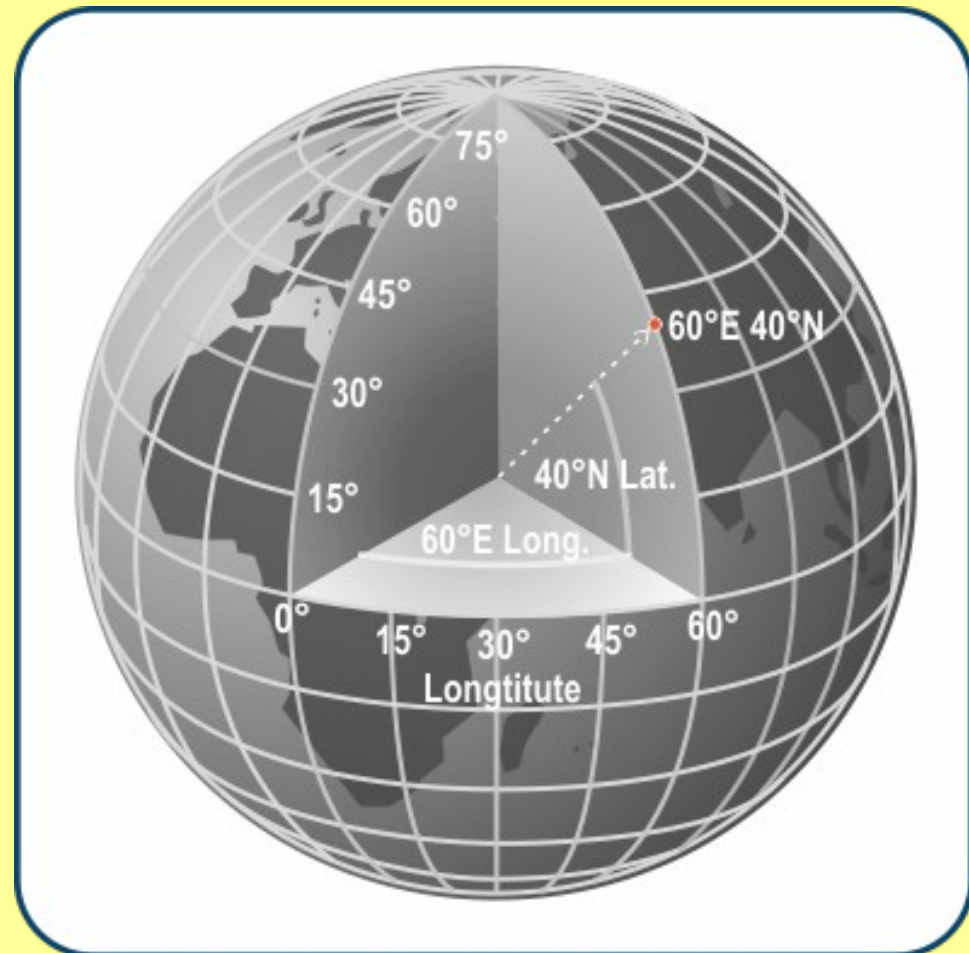
L'origine è dove
l'Equatore
interseca il primo
meridiano.



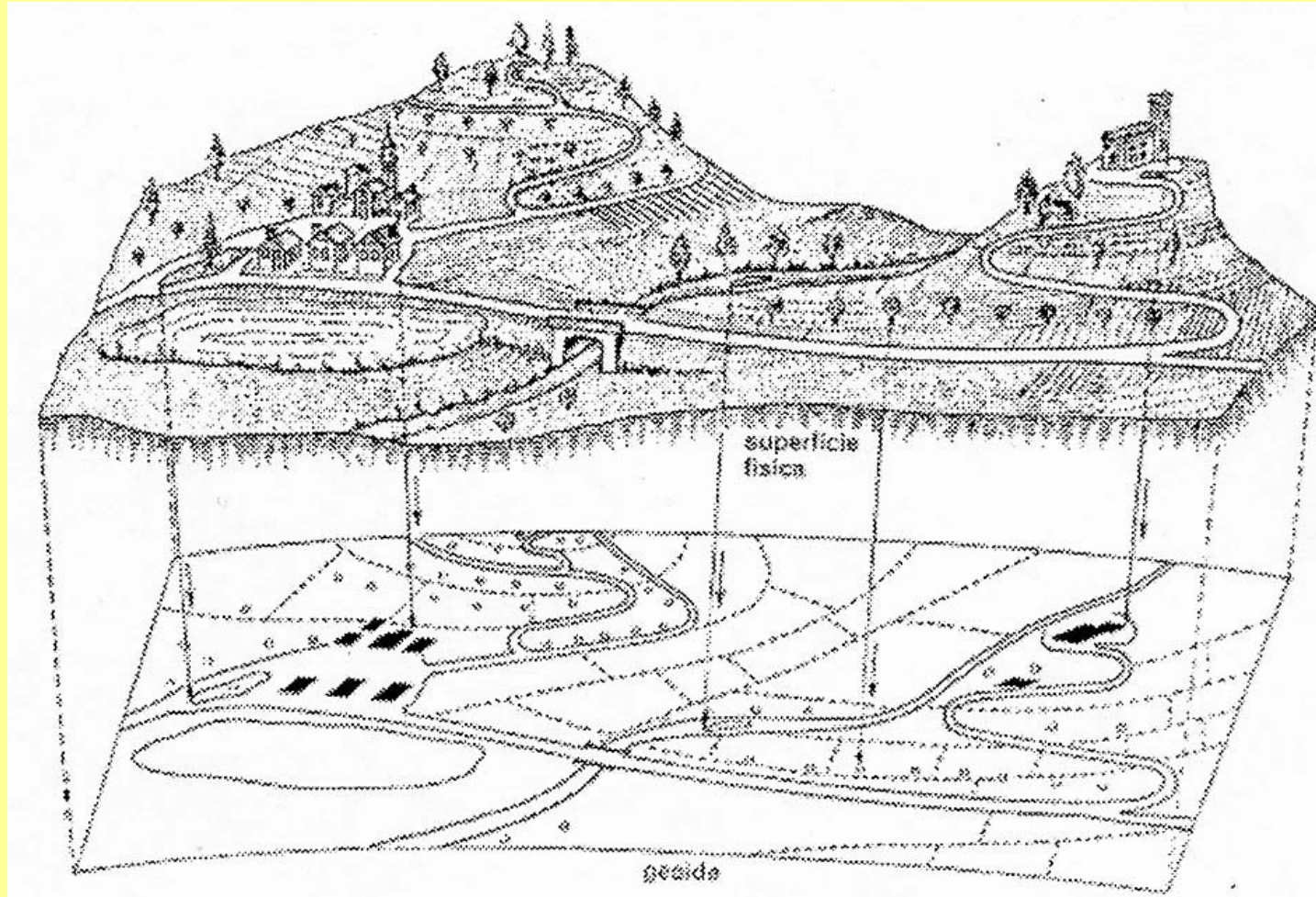
Coordinate geografiche

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.



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

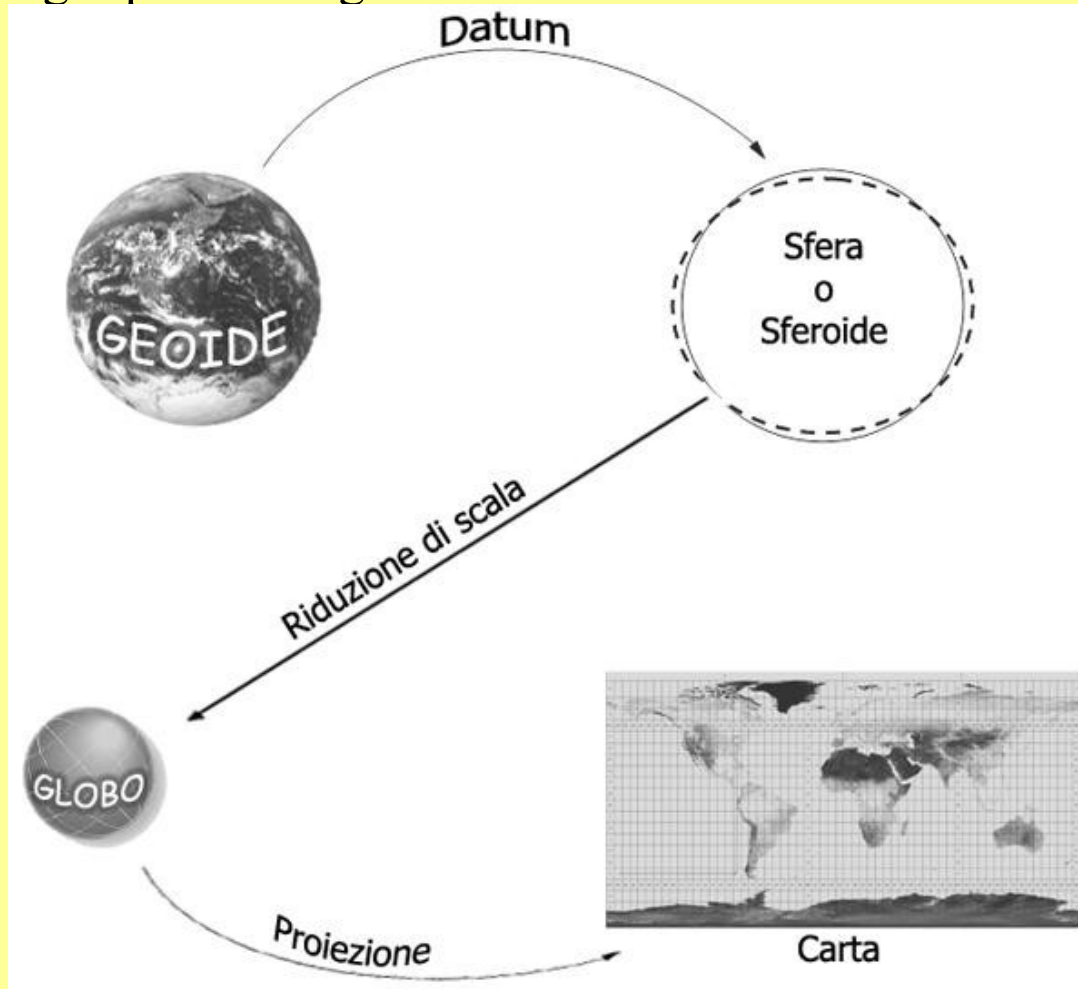
Sono espressioni matematiche

Proiezione

Produzione della carta in due stadi:

Realizzazione di un globo a scala ridotta della Terra

Trasferimento di ogni punto del globo sulla carta



Scala di una carta

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

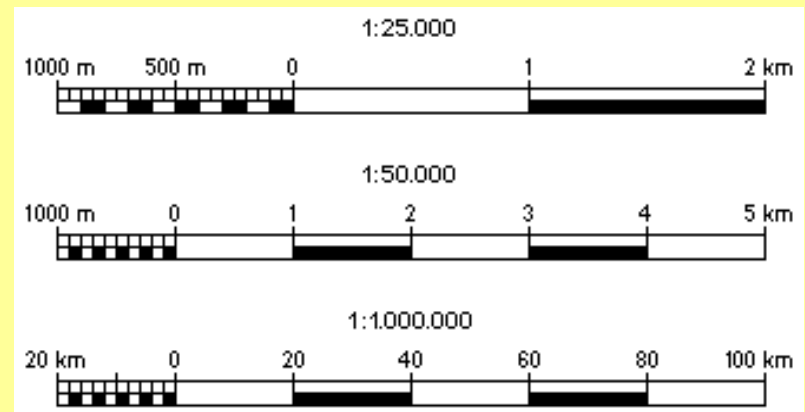
Scala

- 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



Proiezioni

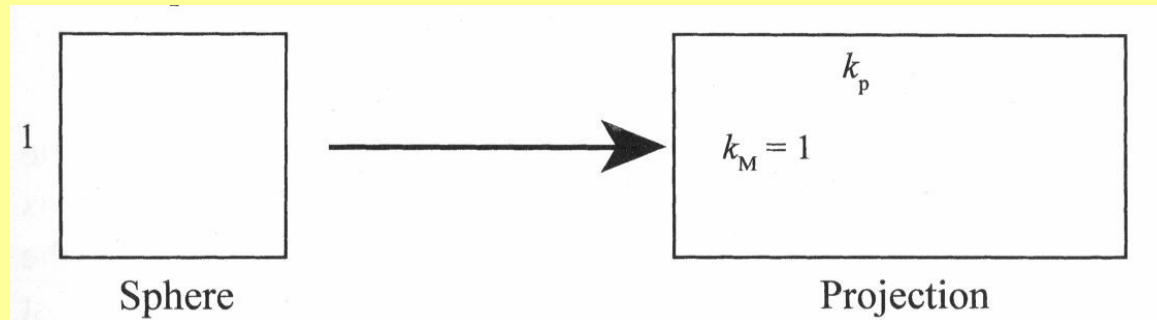
Durante il processo di proiezione dei dati reali sul foglio, vengono comunque introdotte delle distorsioni di almeno una caratteristica geografica.

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

Equidistanti

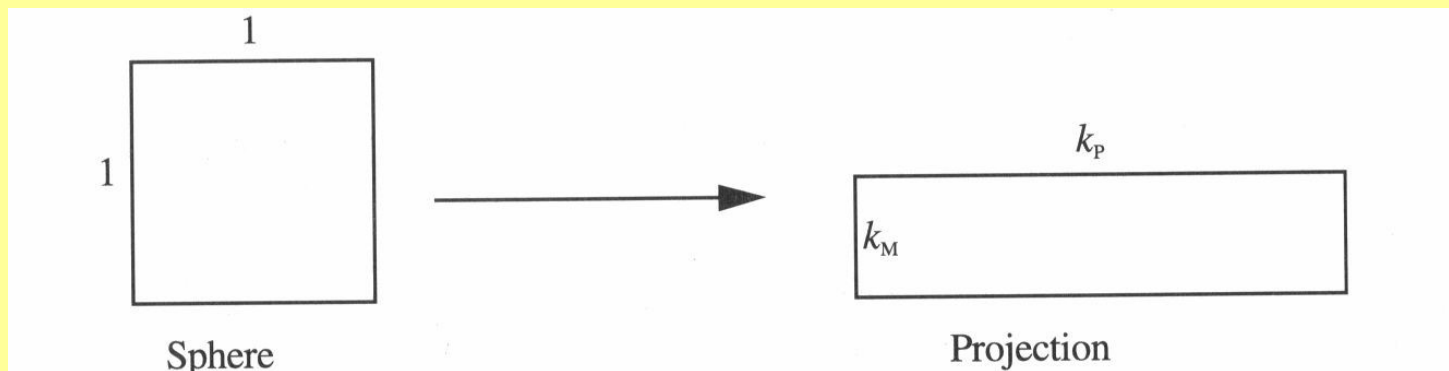


Ove: k =distanza sulla proiezione/distanza sulla sfera (o elissoide)

k_p =rapporto lungo un parallelo

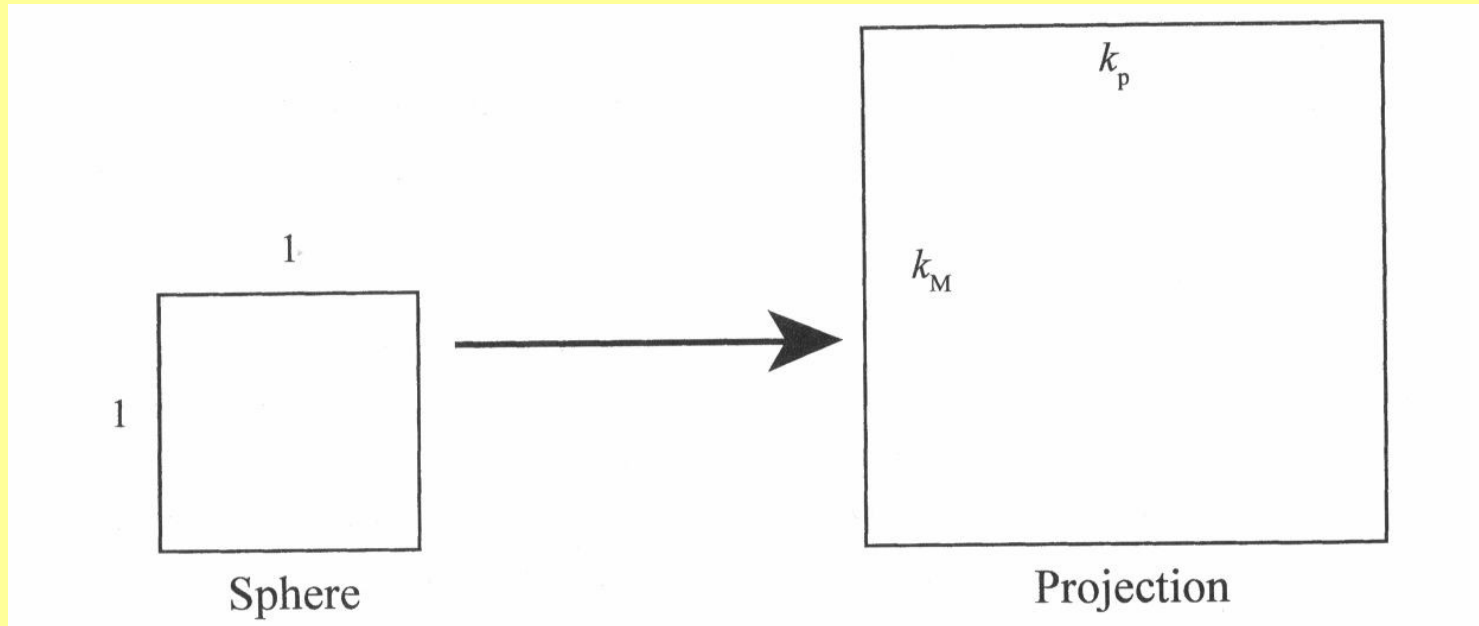
k_m =rapporto lungo un meridiano

Equivalenti



Proiezioni

Conformi



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

k_p =rapporto lungo un parallelo

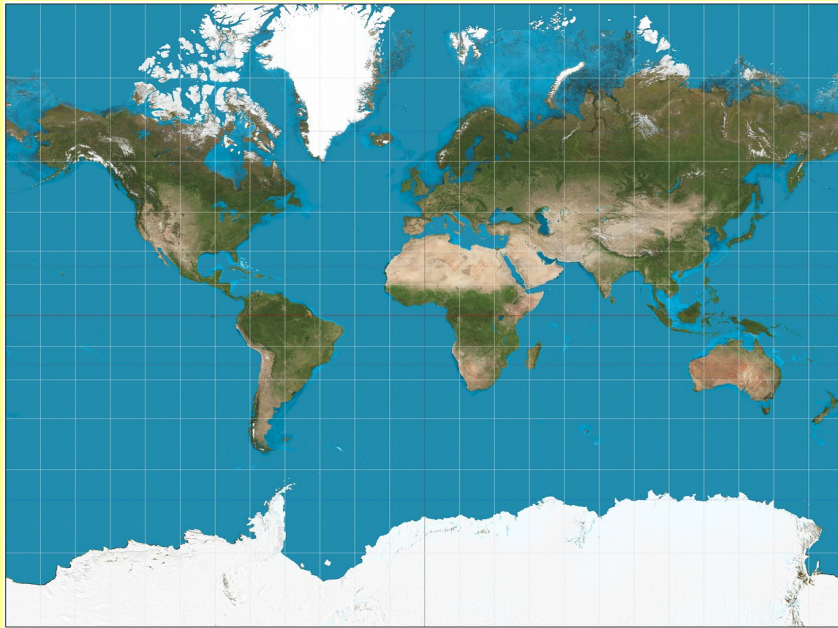
k_m =rapporto lungo un meridiano

Proiezioni

EQUIDISTANTI (= preservano le Distanze)

EQUIVALENTI (= preservano le aree)

ISOGONE o CONFORMI (= preservano gli angoli)

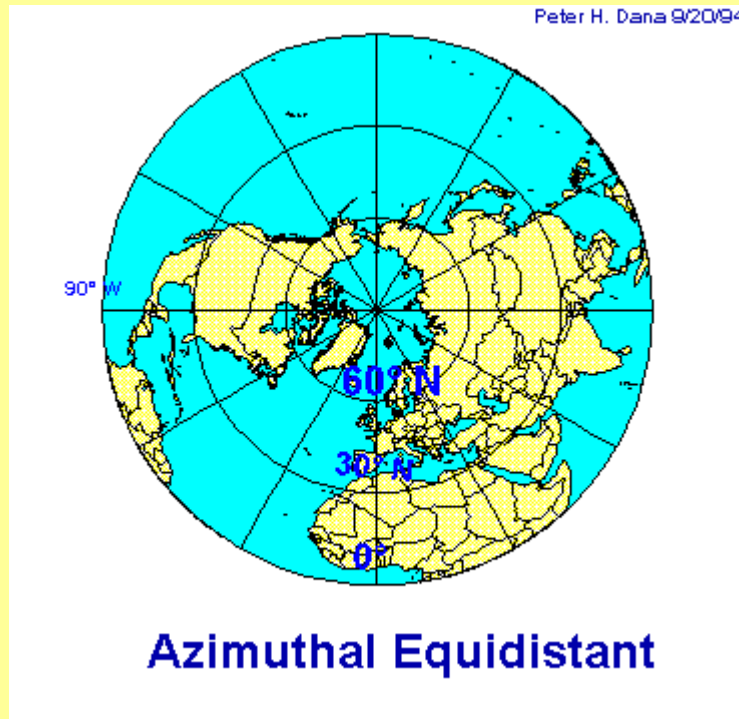


Mercatore - conforme



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**

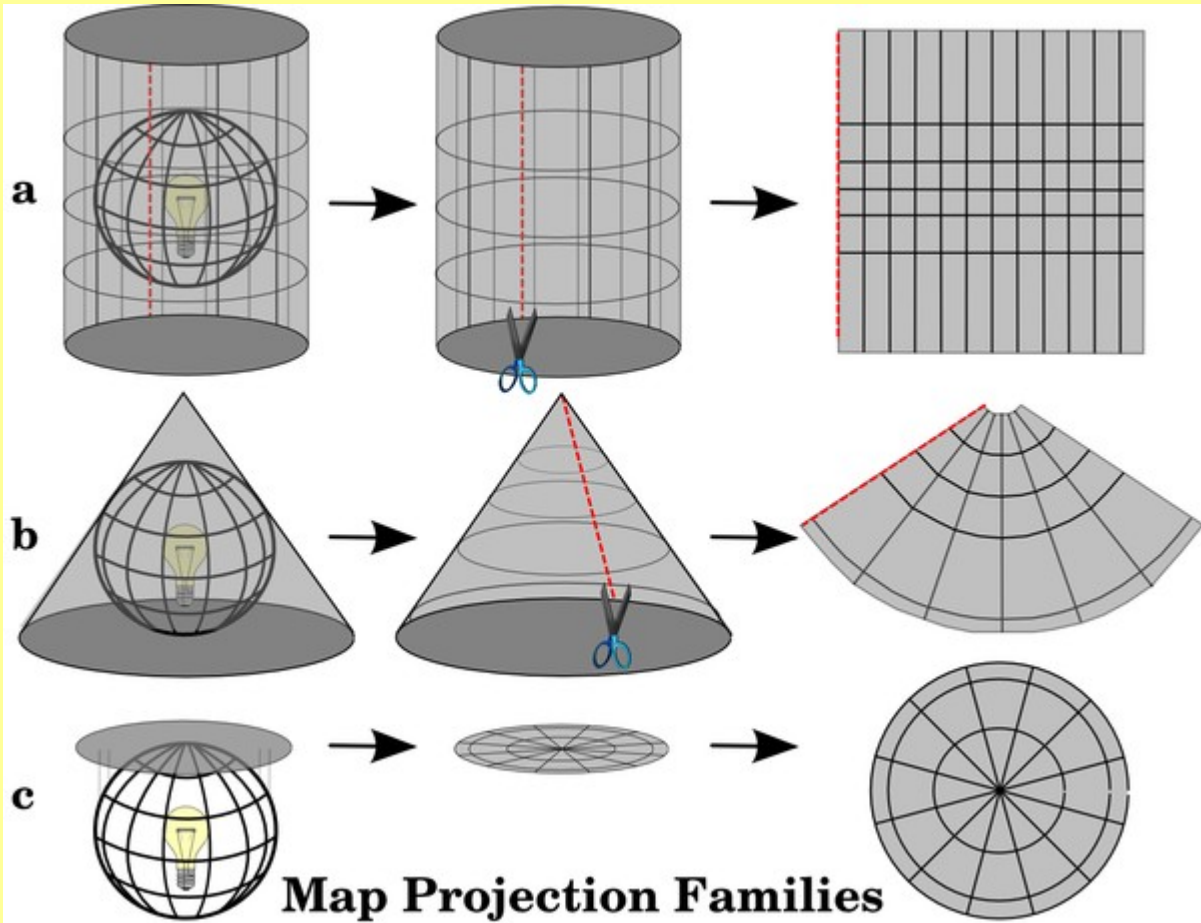
Proiezioni: solido di riferimento

La sfera/elissoide può essere proiettata su:

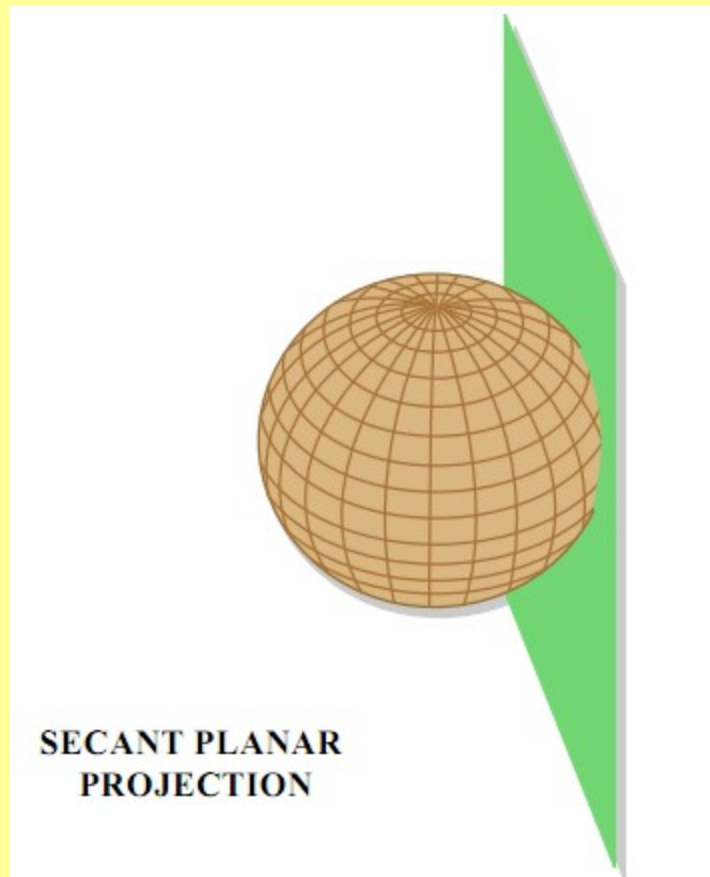
Piano (proiezione piana)

Cilindro (proiezione cilindrica)

Conica (proiezione conica)



Proiezione piana



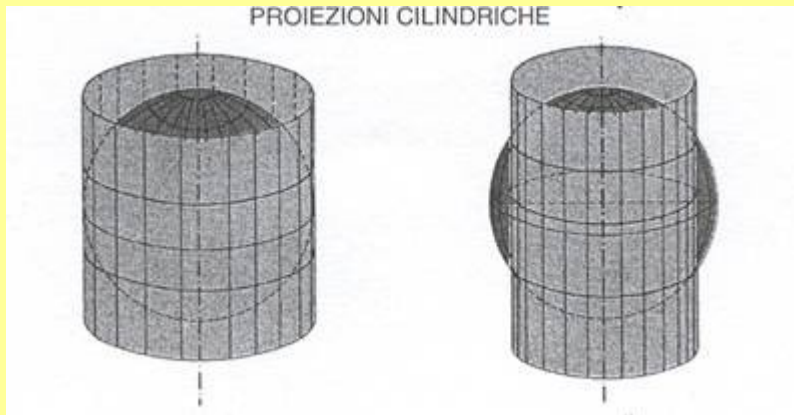
Le proiezioni piane sono realizzate proiettando la superficie terrestre su un piano tangente (o secante) la sfera.

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:

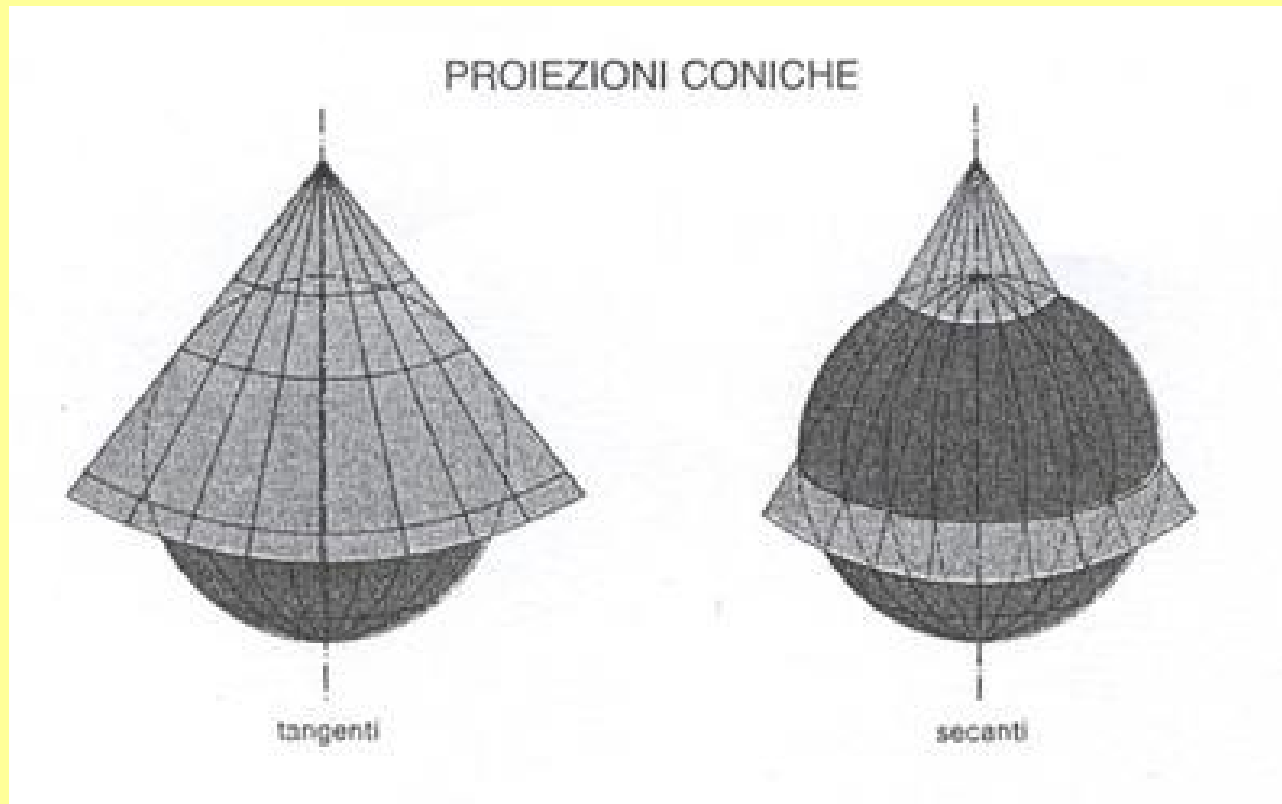
- cilindriche
- coniche



Nelle proiezioni cilindriche le maglie del reticolo risultano rettangolari. A mano a mano che ci si allontana dal cerchio 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.

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



Carta di Mercatore

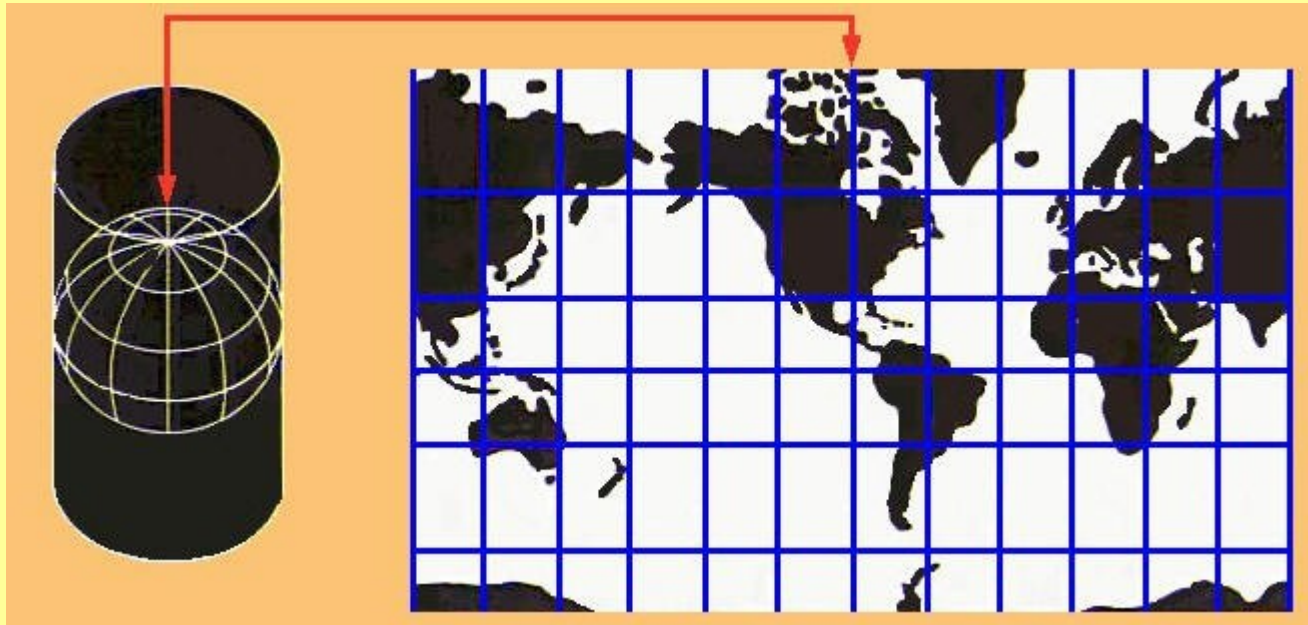
Mercatore (5 marzo 1512 – 2 dicembre 1594) è stato un matematico, astronomo e cartografo fiammingo.

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

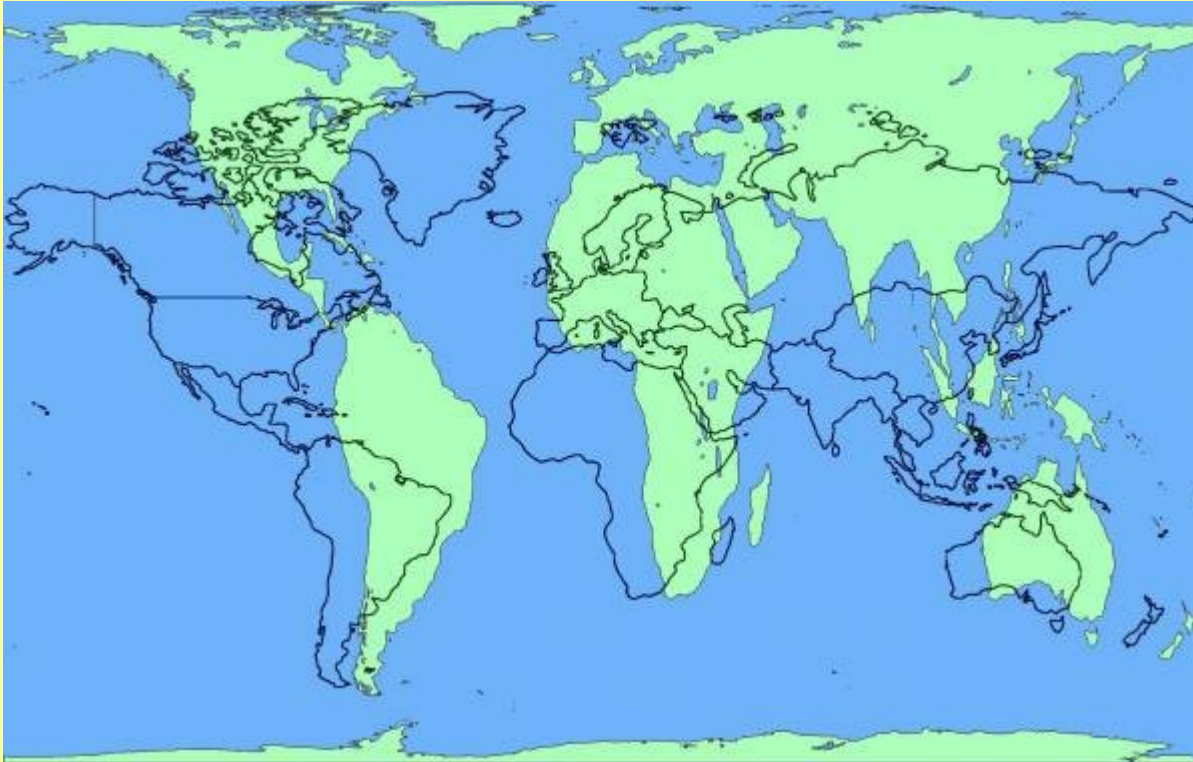


I meridiani, in questa proiezione sono rettilinei, paralleli ed equidistanti mentre i paralleli sono rettilinei, perpendicolari ai meridiani e posti tra loro a distanza crescente con l'allontanarsi dall'equatore, cioè con l'aumento della latitudine.

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.



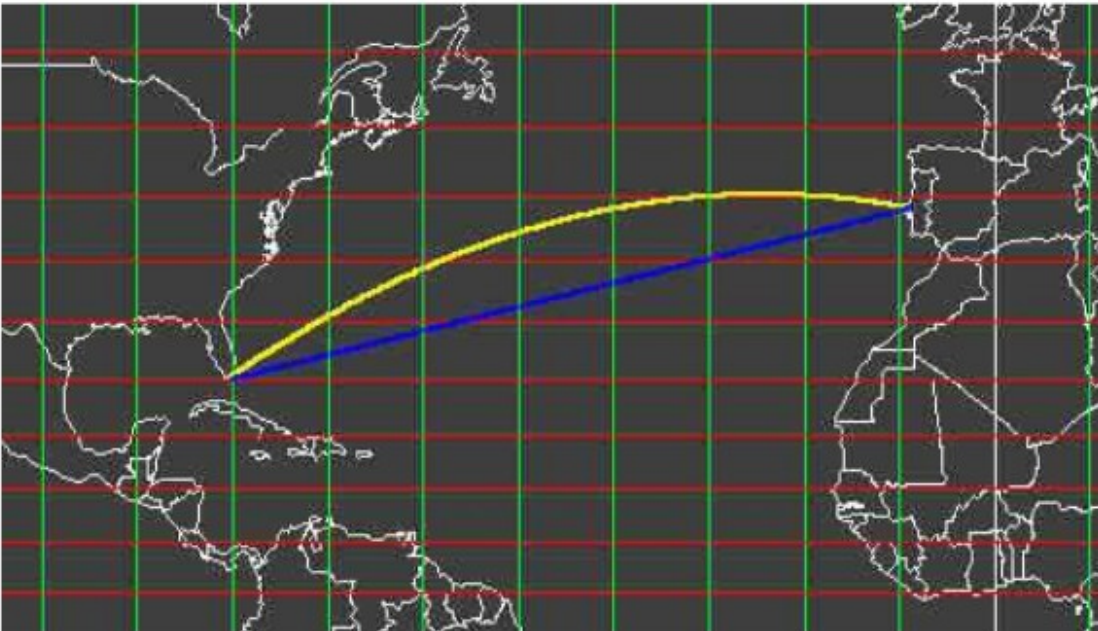
Le proiezioni di
Mercatore e di Peters a
confronto

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.

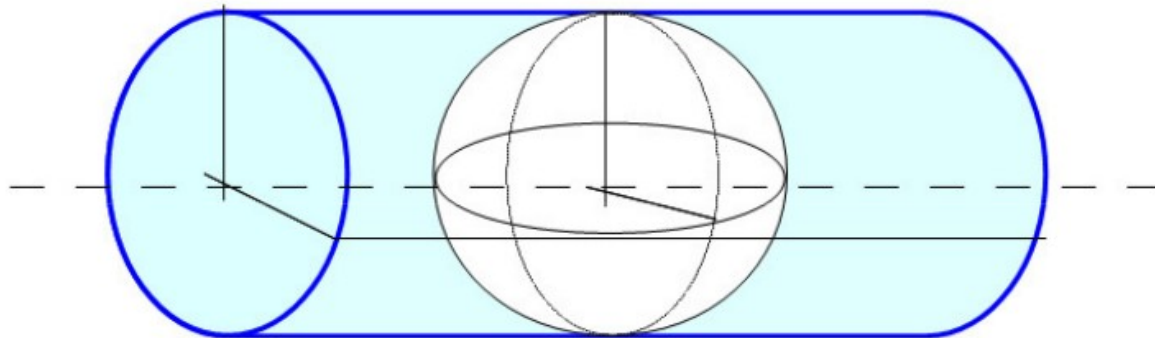


Linea gialla = Ortodromica

Linea blu = Lossodromica

La rappresentazione di Gauss

Rappresentazione conforme assimilabile ad una proiezione cilindrica inversa

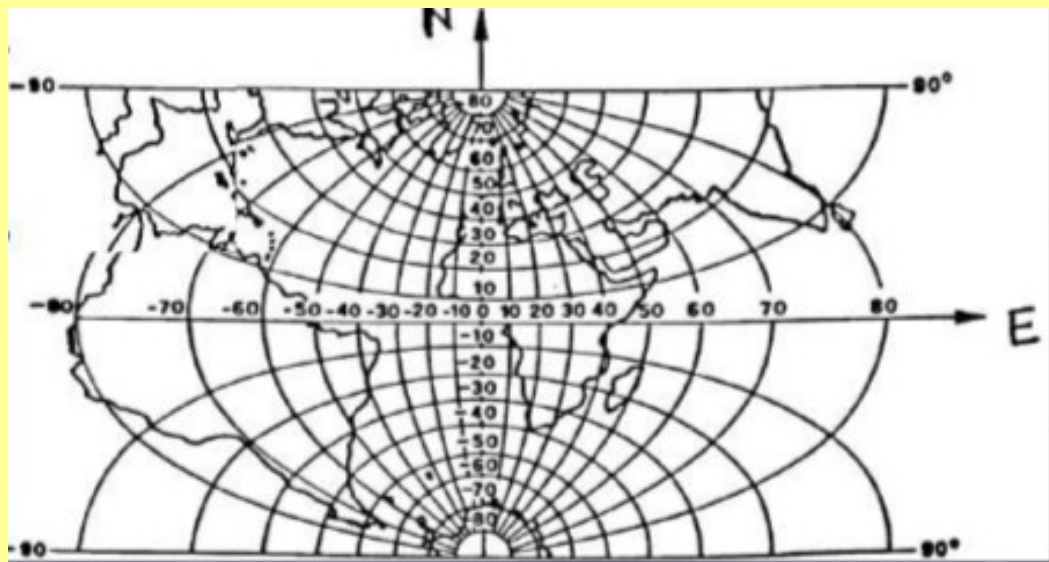


- ideata da Karl F. Gauss (1777 – 1855)
- successivamente modificata da altri geodeti (Krüger, Boaga)
- utilizzata nel sistema cartografico internazionale UTM (Universal Transverse Mercator)
- utilizzata in molti sistemi cartografici nazionali (anche in Italia)

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 (Y)

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

UTM (Universal Transverse Mercator)

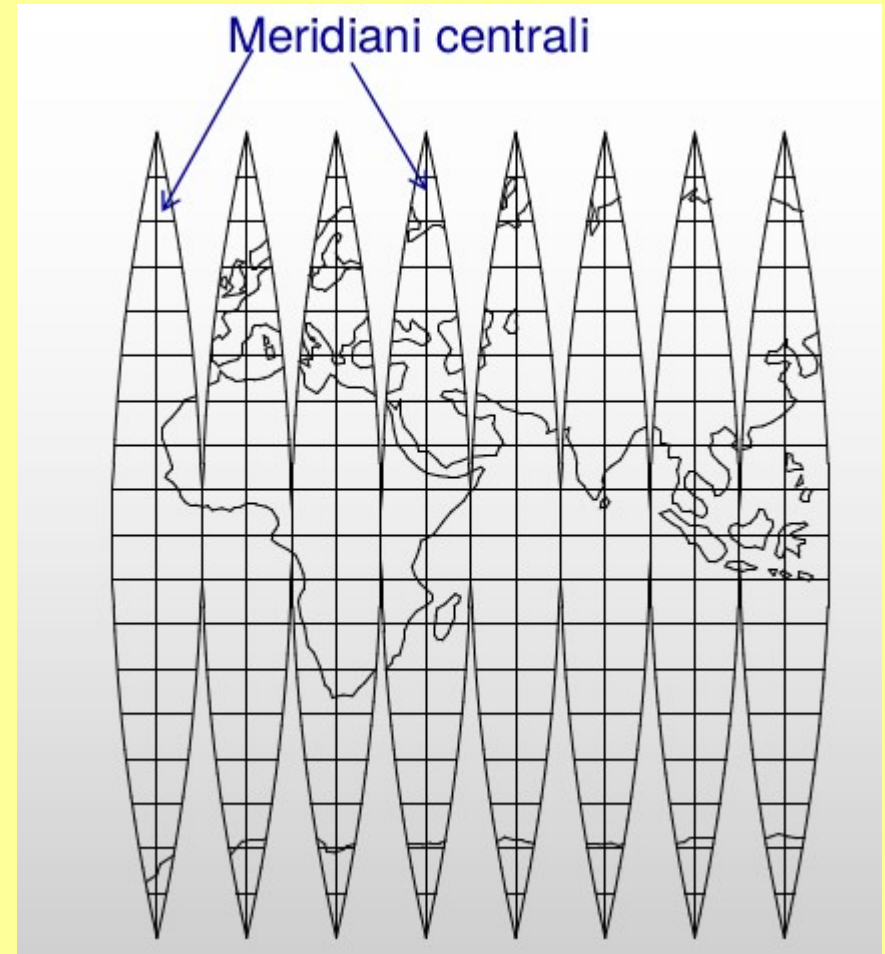
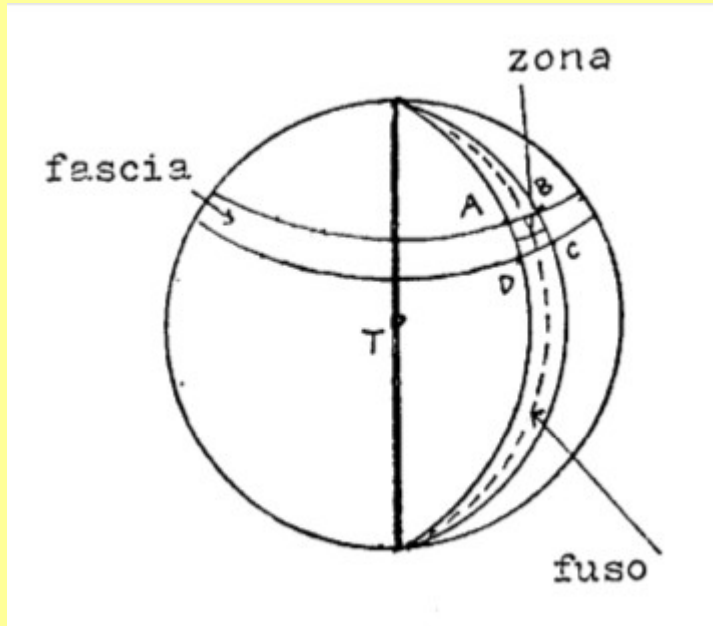
La superficie della Terra è stata divisa in 60 fusi, dell'ampiezza di 6° di longitudine, per ognuno dei quali è stato assunto un meridiano centrale tangente (secante) al cilindro di proiezione, diverso per ogni fuso.

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)



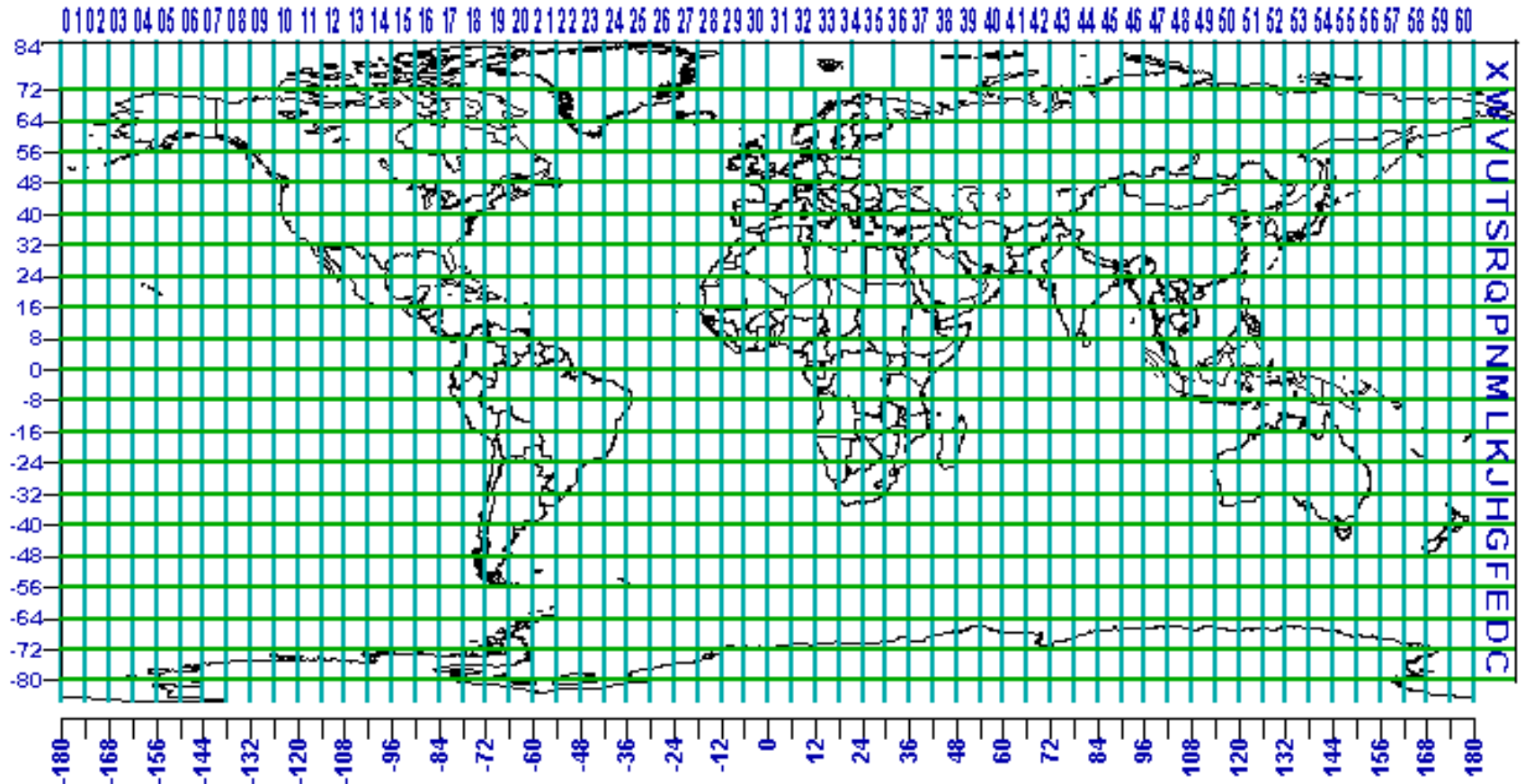
60 fusi – 20 fasce

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

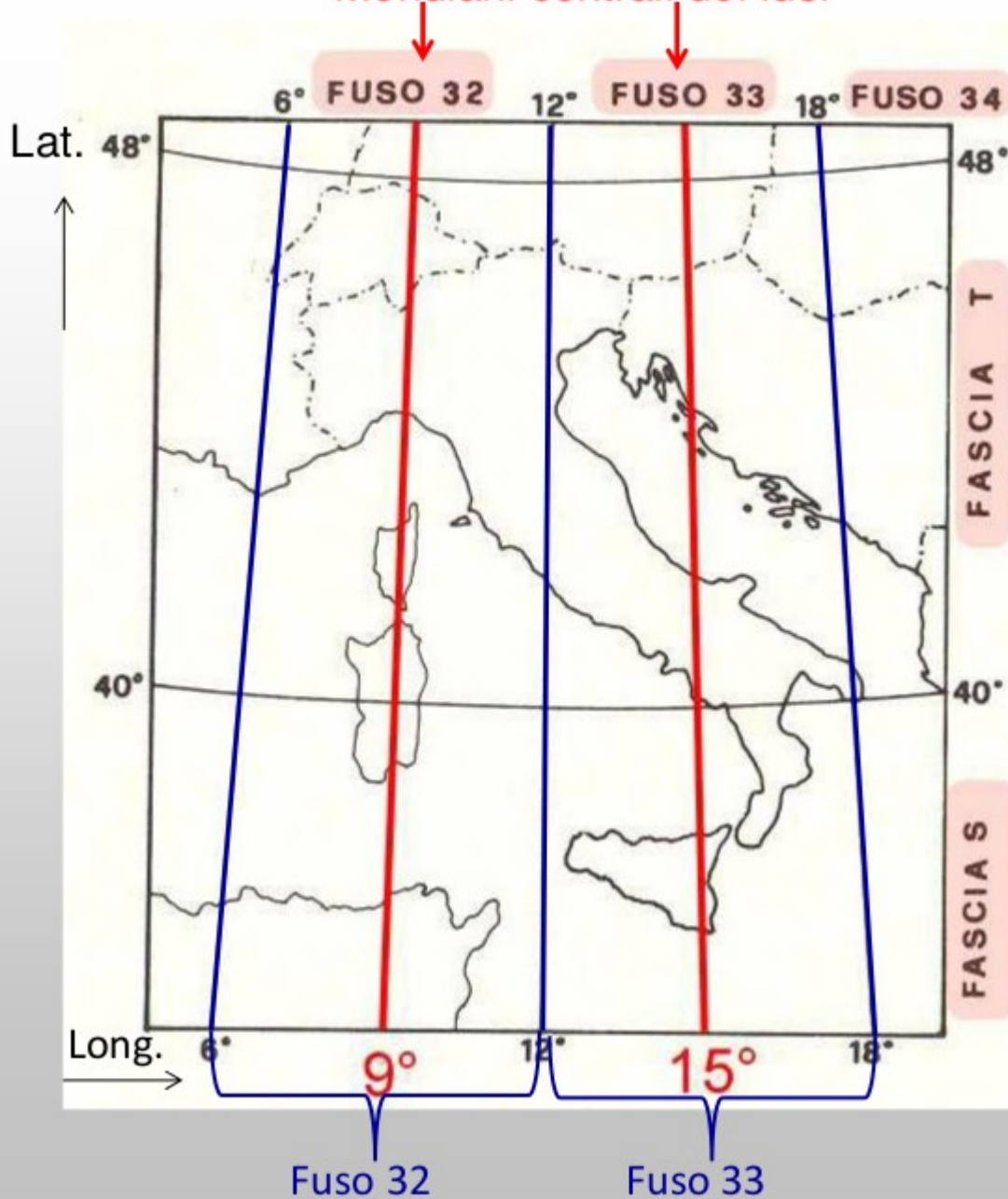
UTM (Universal Transverse Mercator)

UTM Zone Numbers



Universal Transverse Mercator (UTM) System

Meridiani centrali dei fusi



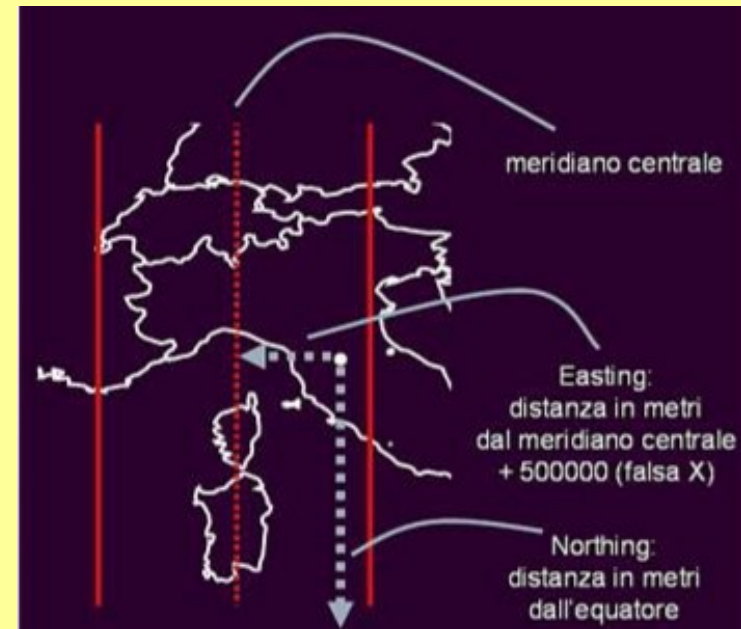
L'Italia si trova nei fusi 32 e 33 e 34 (Salento) e nelle fasce S e T; quindi risulta suddivisa nelle zone 32T, 32S, 33T, 33S, 34T, 34S

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

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.