

INTRODUZIONE ALLA CARTOGRAFIA



AA 2023-34

Gerardus Mercator (1512-1594)

Superficie terrestre

È soggetta a continui cambiamenti ed è irregolare. Tuttavia, nonostante l'esistenza di estese catene montuose e bacini oceanici, il rapporto fra l'altezza della catena montuosa più alta o la profondità del bacino più profondo e il raggio medio di una sfera che inviluppa tutta la Terra è estremamente basso.

Modelli topografici: rappresentano le variazioni fisiche della superficie

La superficie topografica della Terra è la superficie dei continenti e dei mari in un certo momento nel tempo.

Il livello dei mari è la superficie media degli oceani

La forma della Terra

I **modelli piatti** della Terra sono tuttora usati per i rilevamenti piani, su distanze tali per cui è possibile considerare insignificante la curvatura terrestre (meno di 10 km).

I **modelli sferici** della Terra sono tuttora utilizzati per la navigazione locale su brevi distanze e per misure di distanza molto approssimate. Questi modelli però falliscono quando si cerca di rappresentare l'intero pianeta.

Il leggero schiacciamento ai poli provoca una differenza di ca. 20 km tra una sfera avente un raggio pari al valore medio del pianeta e il raggio misurato ai poli. Quindi si rende necessario il ricorso a **modelli ellissoidali**.

ELLISSOIDE

In cartografia viene usualmente utilizzata la superficie dell'**ellissoide**, la cui espressione:

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

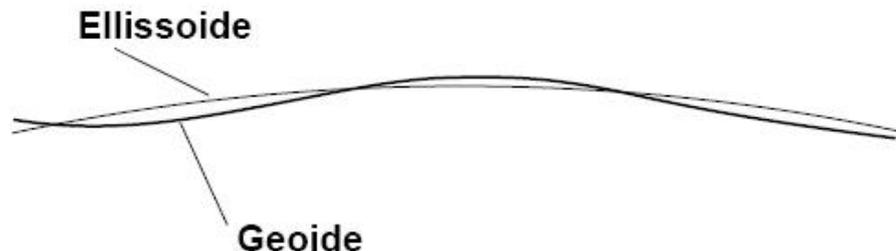
è caratterizzata da 2 parametri: **a** (*semiasse equatoriale*) - **c** (*semiasse polare*)

La quantità: $\alpha = \frac{a - c}{a}$

è definita ***schacciamento***.

l'ellissoide è un'eccellente approssimazione della superficie terrestre.

Lo scostamento tra geoidi ed ellissoide si denomina ***ondulazione***:



Elissoide e Geoide

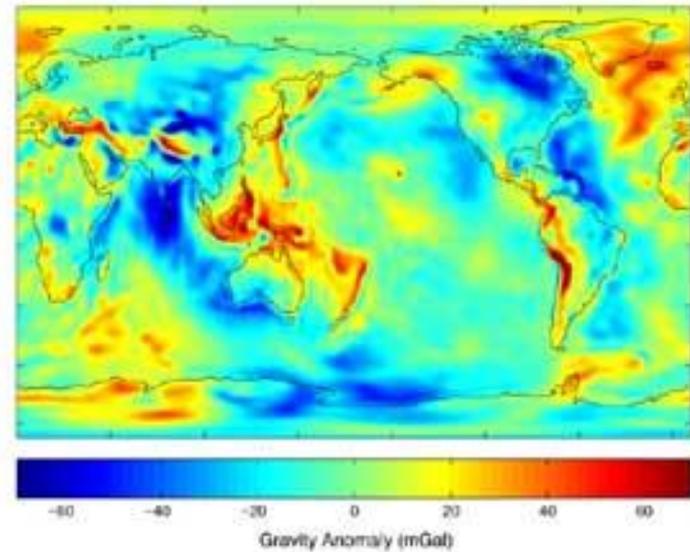
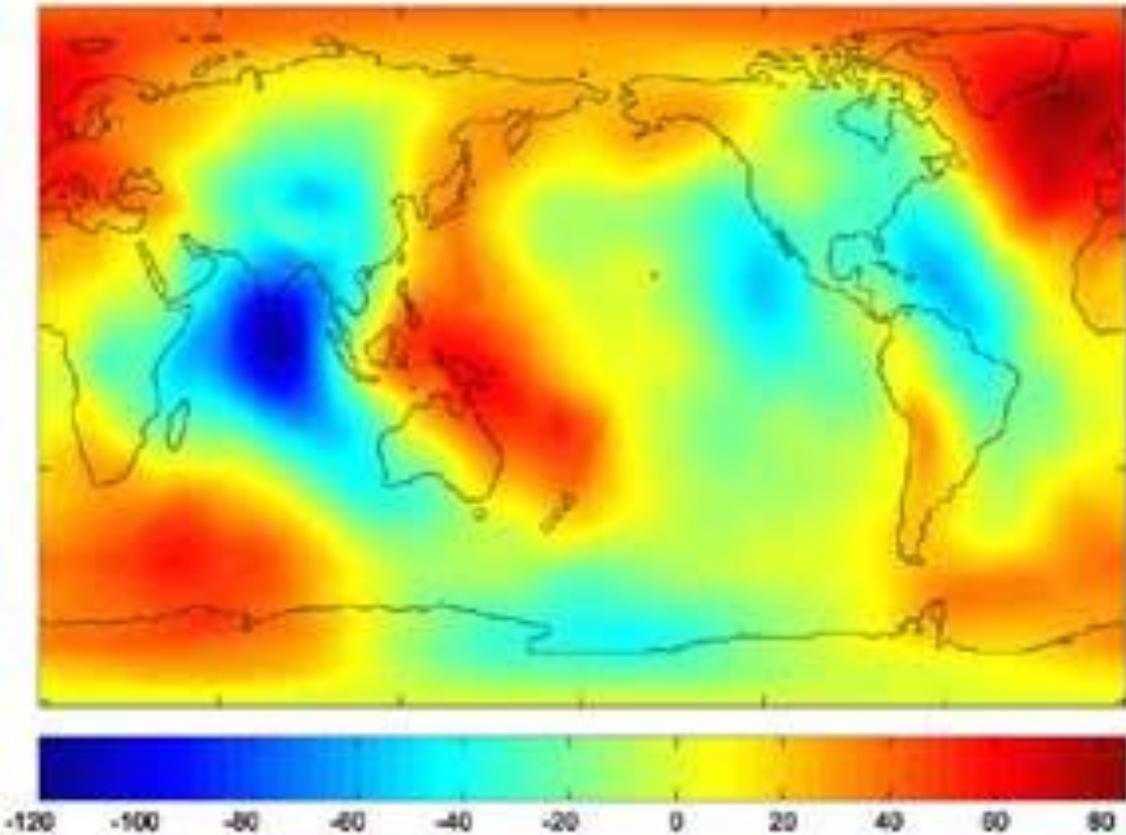
Un punto qualsiasi dello spazio terrestre prima di essere riportato nel piano della carta s'immagina trasferito sul geoide, proiettandolo verticalmente, quindi secondo la verticale del luogo. Questa superficie coinciderebbe con la superficie dei mari, opportunamente prolungata sotto le terre emerse. Tuttavia, la formulazione matematica del geoide appare assai complessa.

Ciò è dovuto al fatto che in essa figurano grandezze non solo geometriche ma anche meccaniche quali la densità dei diversi punti all'interno della terra.

Quindi, si sono definite altre superfici di riferimento che approssimino il geoide, godendo di espressioni matematiche più semplici.

Modelli di gravità (geoidi)

Il geode è una superficie equipotenziale del campo gravitazionale terrestre. Globalmente il geode presenta scostamenti nell'ordine di ± 100 metri rispetto a una superficie di riferimento matematica (l'ellissoide di rotazione).



GEODETIC DATUM

(Sistema di riferimento geodetico)

SISTEMI DI RIFERIMENTO GEODETICI (Geodetic Datums)

Definizione:

Sono i sistemi di riferimento che descrivono la forma e le dimensioni del pianeta Terra

Forme principali:

Sfera, Ellissoidi

Applicazioni:

Cartografia, Navigazione, Rilevamento, Astronomia

Esistono oltre 100 sistemi di riferimento geodetici a livello internazionale, utilizzati da diverse nazioni. Spesso, all'interno delle stesse nazioni, differenti sistemi vengono utilizzati da differenti enti/agenzie.

Il **DATUM** definisce tutti i parametri necessari per il calcolo delle coordinate geografiche :

(1) ELLISSOIDE DI RIFERIMENTO

- Dimensioni del semiasse maggiore
- Dimensioni del semiasse minore
- Schiacciamento polare

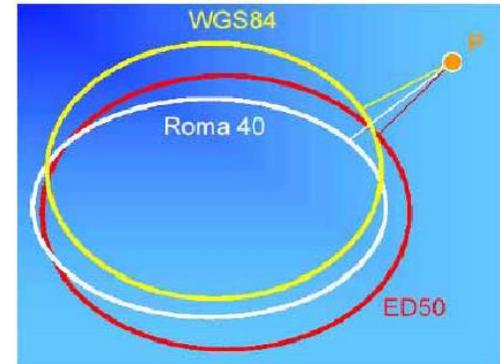
+

(2) ORIENTAMENTO rispetto al geode

+

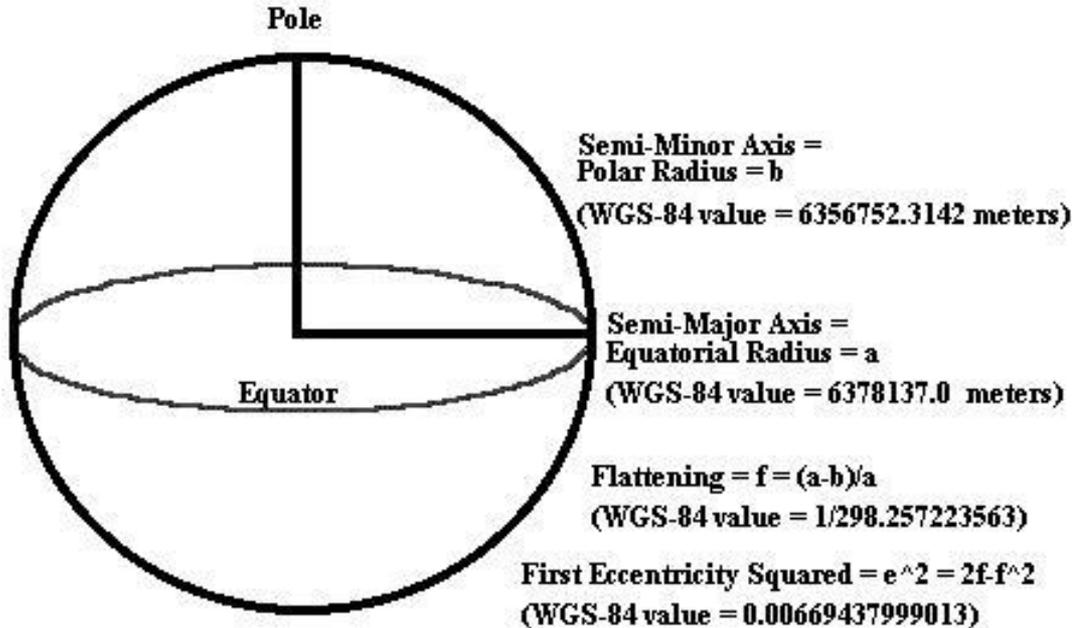
(3) AZIMUTH dell'ellissoide

(angolo tra la tangente a una curva passante per il punto di emanazione e la tangente al meridiano di riferimento).



La scelta di un DATUM è FONDAMENTALE ed è ERRATO parlare di latitudine e longitudine senza aver prima definito il DATUM.

ELLISSOIDI di RIFERIMENTO



Ellipsoidal Parameters

Peter H. Dana 9/1/94

Definiti da:

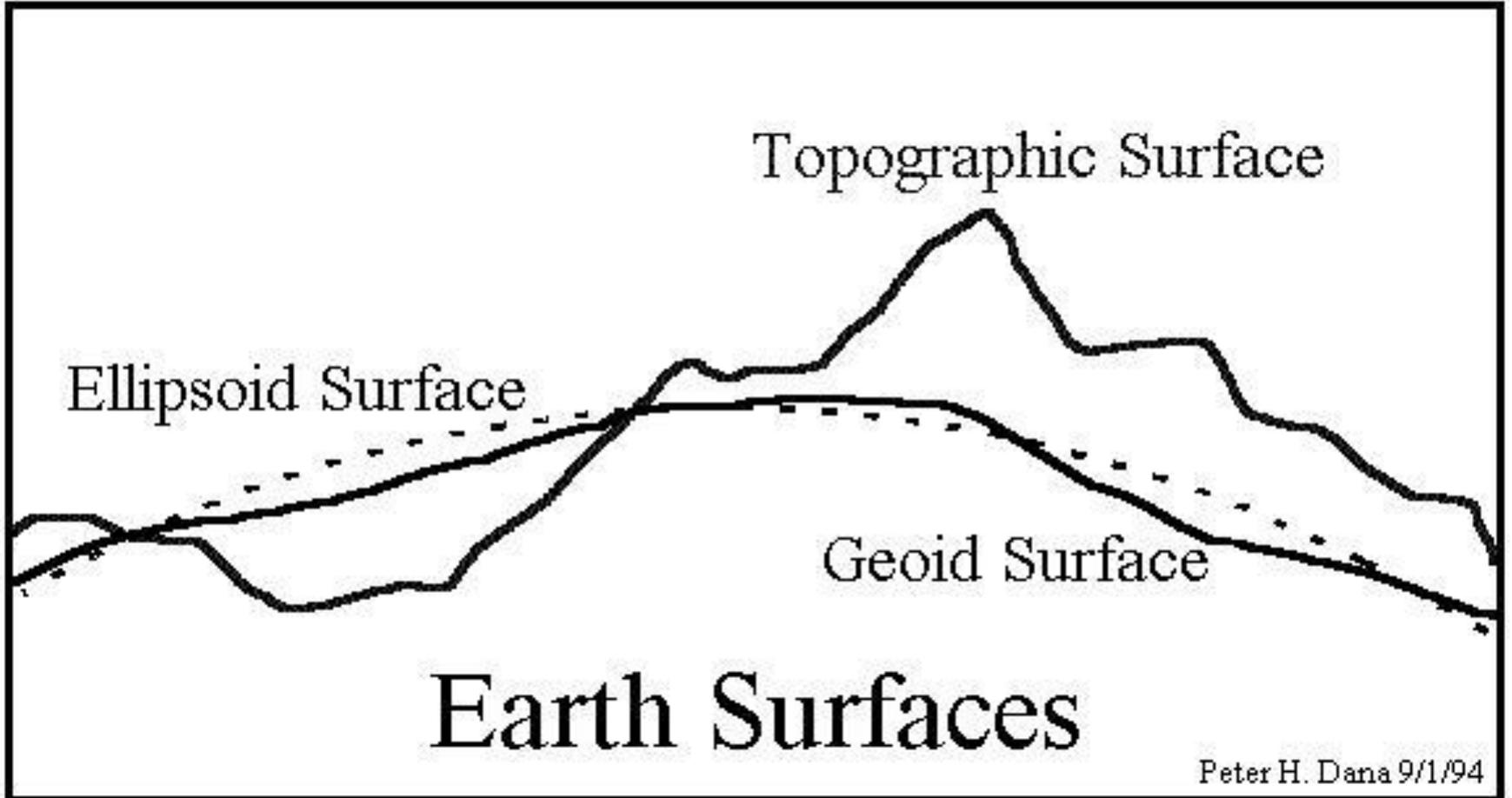
semiasse minore
(raggio polare)

semiasse maggiore
(raggio equatoriale)

Schiacciamento (flattening)

ELLISSOIDI di RIFERIMENTO – alcuni esempi

Ellipsoid	Semi-major axis (m)	1/flattening NB
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Modified Airy	6377340.189	299.3249646
Australian National	6378160	298.25
Bessel 1841 (Namibia)	6377483.865	299.1528128
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest (India 1830)	6377276.345	300.8017
Everest (Sabah and Sarawak)	6377298.556	300.8017
Everest (India 1956)	6377301.243	300.8017
Everest (Malaysia 1969)	6377295.664	300.8017
Everest (Malaysia and Singapore)	6377304.063	300.8017
Everest (Pakistan)	6377309.613	300.8017
Modified Fischer 1960	6378155	298.3
Helmert 1906	6378200	298.3
Hough 1960	6378270	297
Indonesian 1974	6378160	298.247
International 1924	6378388	297
Krassovsky 1940	6378245	298.3
GRS 80	6378137	298.257222101
South American 1969	6378160	298.25
WGS 72	6378135	298.26
WGS 84	6378137	298.257223563
Hayford European 1950	6378388	297
Hayford M. Mario 1940	6378388	297

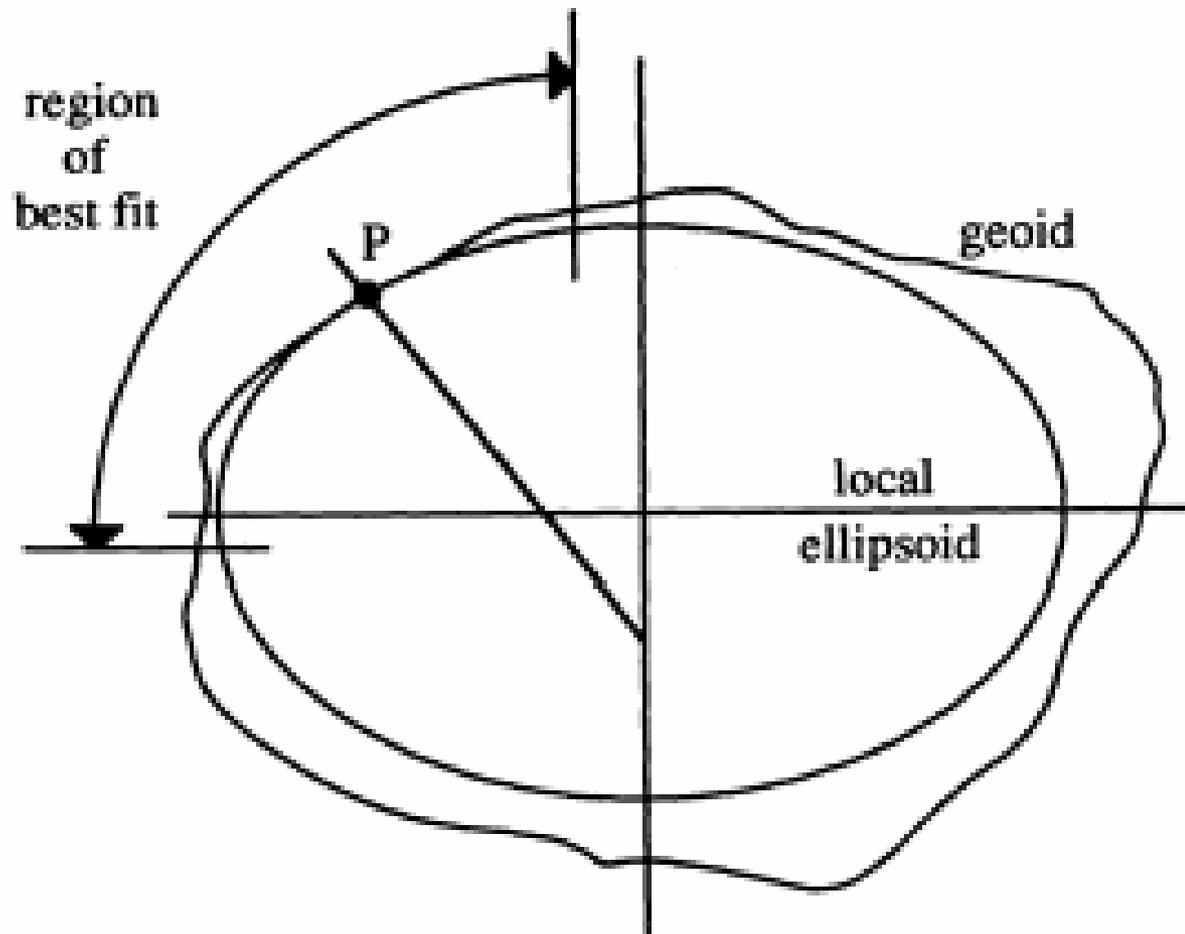


ORIENTAMENTO e AZIMUTH

L'ellissoide prescelto per un DATUM in pratica viene orientato localmente nel cosiddetto **punto di emanazione** imponendo che in quel punto si verifichino le seguenti condizioni geometriche:

- 1. la normale ellissoidica coincida con la verticale**
- 2. la direzione del meridiano ellissoidico coincida con quella del meridiano astronomico**
- 3. la quota ellissoidica coincida con quella ortometrica**

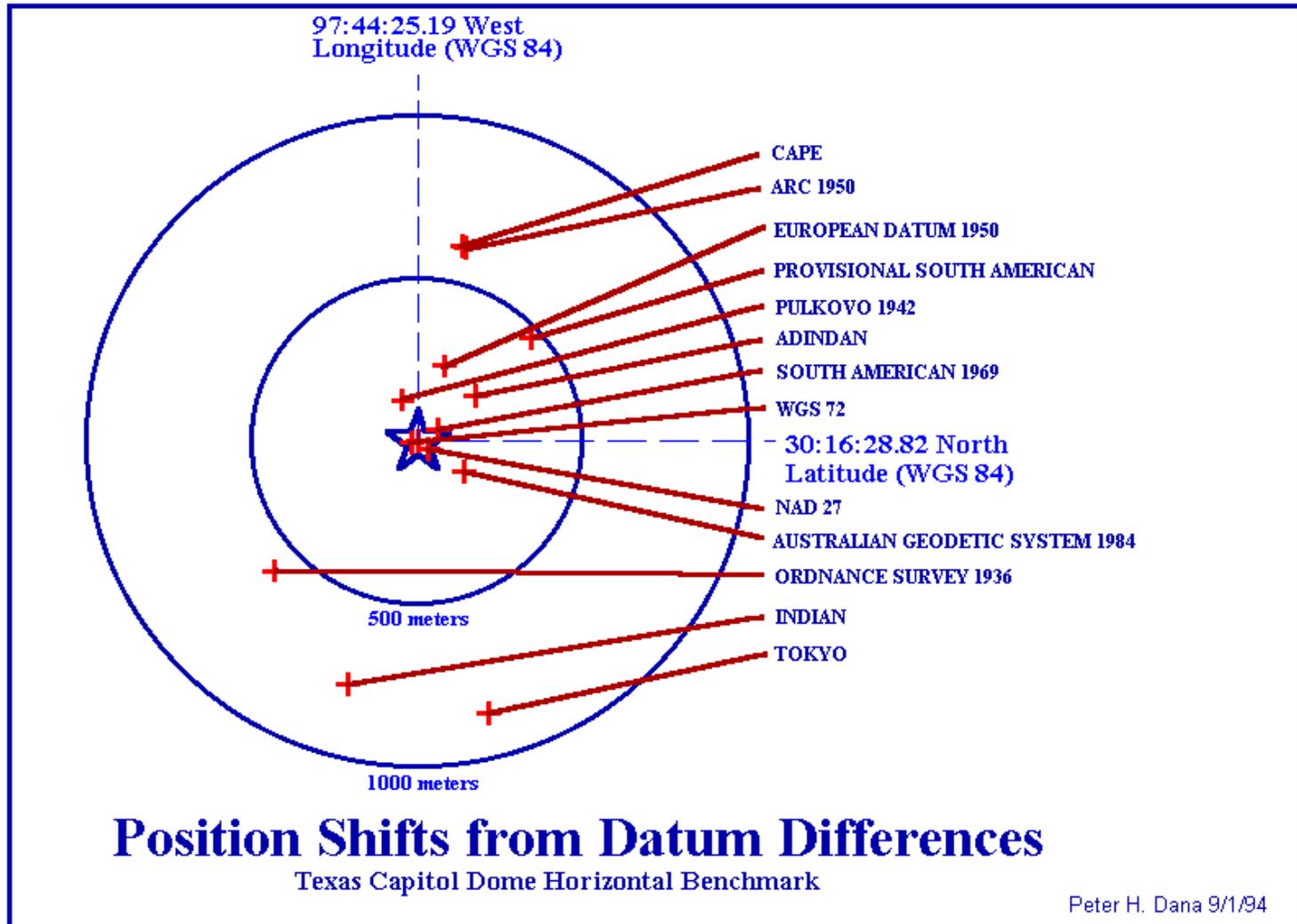
Nel punto di emanazione "P" risulta nulla la deviazione della verticale. In pratica, quindi, l'ellissoide orientato localmente risulta **tangente al geoide nel punto di emanazione**. Un ellissoide orientato approssima bene la superficie geoidica (ai fini della planimetria) in un intorno molto vasto del punto di emanazione, fino alle dimensioni di uno Stato o anche di una porzione di continente.



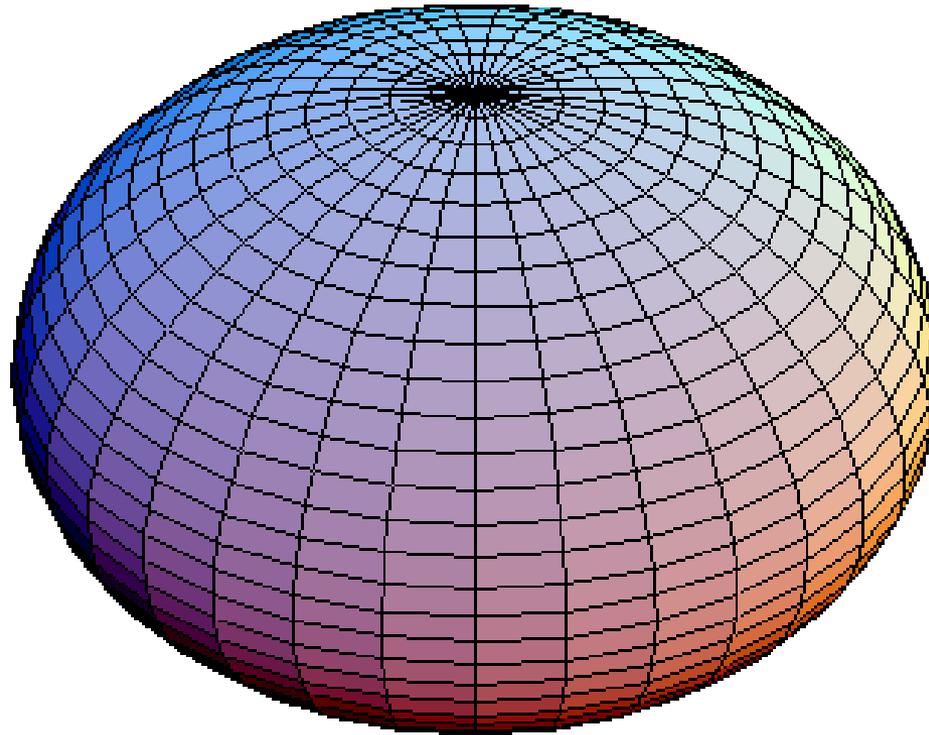
I DATUM si sono evoluti a partire dalla sfera, prima forma geometrica usata, per arrivare agli ellissoidi ottenuti da misure satellitari.

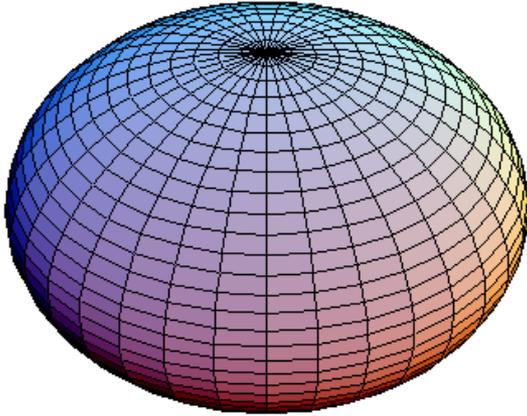
L'utilizzazione di un sistema di coordinate geodetiche (sistemi di coordinate che si riferiscono alla superficie del pianeta) applicate ad un sistema di riferimento geodetico sbagliato può portare ad errori di posizione di centinaia di metri.

A livello internazionale, differenti nazioni e/o differenti Enti all'interno delle singole nazioni, utilizzano diversi sistemi di riferimento geodetico con lo scopo di ottenere posizionamenti molto precisi sia nella topografia che nella navigazione e/o sistemi di coordinate che vengono utilizzate nei sistemi informativi territoriali (GIS).



IL RETICOLATO GEOGRAFICO





Reticolato geografico

rete di linee immaginarie che permette di definire la posizione di punti ed aree sulla superficie terrestre.

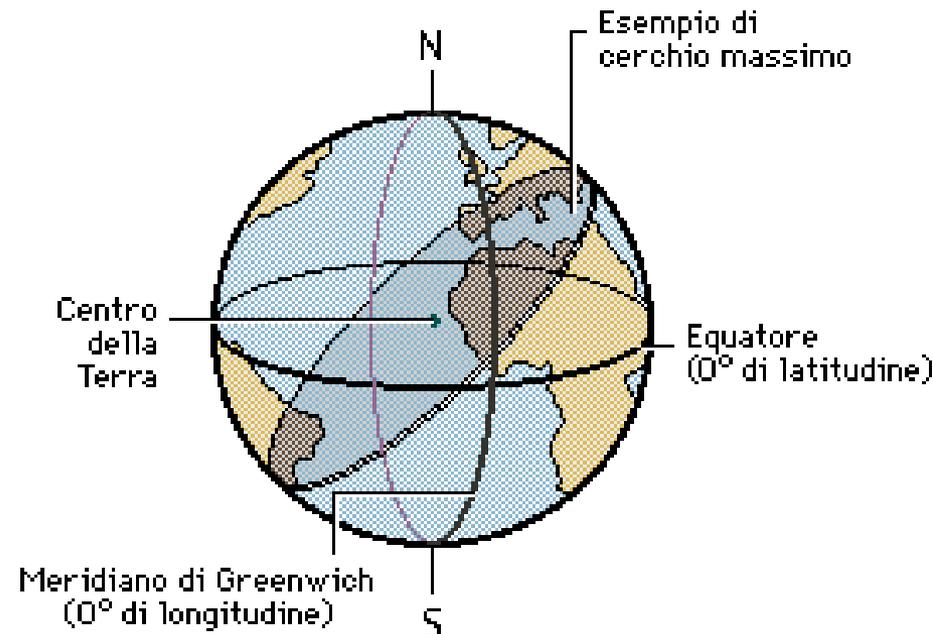
- Piani Meridiani:** infiniti piani contenenti l'asse terrestre;
- Piani paralleli:** infiniti piani perpendicolari all'asse terrestre e paralleli tra loro;
- Circoli Meridiani:** circonferenze generate sulla superficie terrestre dai piani meridiani; ogni circonferenza è divisa dall'asse terrestre in due semicirconferenze chiamate *meridiano* e *antimeridiano*;
- Paralleli geografici:** circonferenze generate sulla superficie terrestre dai piani paralleli.

Meridiani e paralleli si intersecano ad angolo retto.

L'insieme di meridiani e paralleli costituisce il reticolato geografico.

CIRCOLO MASSIMO (cerchio massimo)

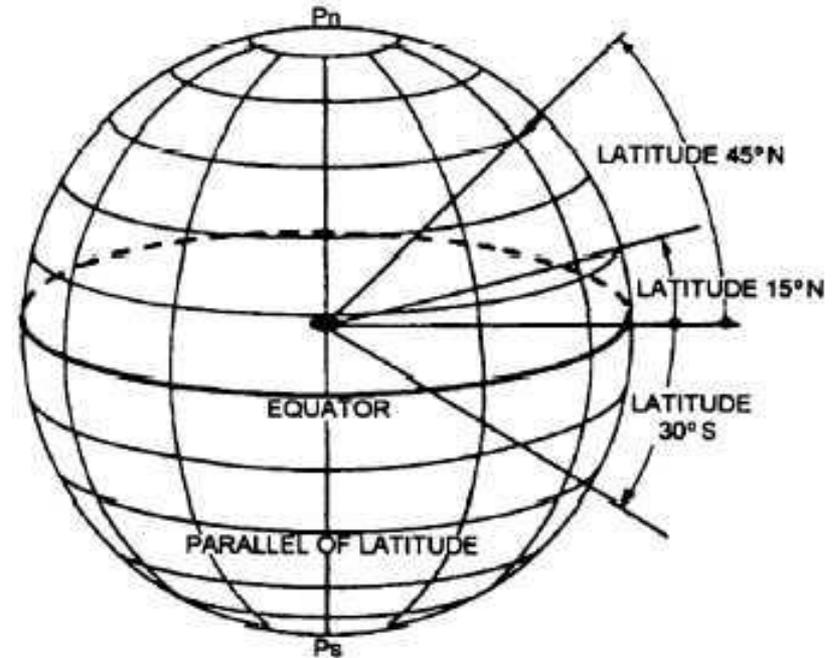
- 1) Un circolo massimo è il risultato dell'intersezione di una sfera con un piano passante per il suo centro, indipendentemente dalla disposizione del piano.
- 2) Un cerchio massimo è il cerchio più grande che si può tracciare sulla superficie di una sfera.
- 3) Su una sfera si possono tracciare infiniti cerchi massimi.
- 4) Due punti sulla superficie di una sfera individuano un solo circolo massimo.
- 5) L'arco di circolo massimo fra due punti sulla superficie di una sfera è la distanza più breve fra due punti (linea ortodromica).
- 6) Due cerchi massimi si intersecano sempre suddividendosi l'un l'altro in mezzi cerchi.



Il piano perpendicolare all'asse terrestre ed equidistante dai poli interseca la Terra individuando una circonferenza che è denominata EQUATORE.

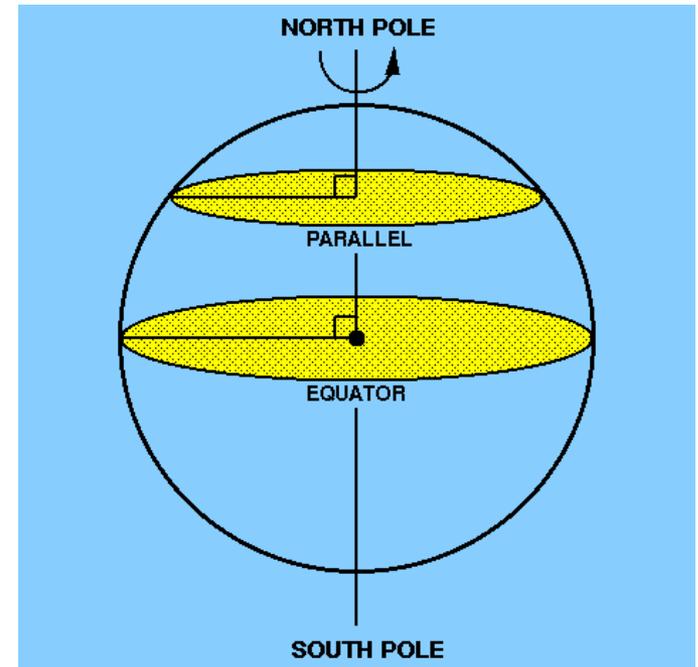
L'Equatore divide la Terra nei due emisferi, E. Boreale (settentrionale) ed E. Australe (meridionale).

Mentre i meridiani sono mezzi circoli massimi, l'Equatore è un circolo massimo completo.



PROPRIETA' DEI PARALLELI

- 1) Se si esclude l'Equatore, tutti gli altri paralleli sono cerchi minori, dati dall'intersezione della sfera con i piani paralleli a quello equatoriale e non passanti dal centro della sfera.
- 2) I paralleli sono sempre paralleli tra loro proprio perché si tratta di cerchi minori: infatti non è possibile tracciare su una sfera due cerchi massimi paralleli tra loro.
- 3) I paralleli seguono sempre la direzione E-W
- 4) Intersecano sempre i meridiani secondo angoli "retti"
- 5) Su un globo si possono tracciare infiniti paralleli. Per ogni punto sulla superficie del globo passa un parallelo unico, ad eccezione dei 2 poli.
- 6) Per convenzione si considerano 90 paralleli a N dell'equatore e 90 a S



PROPRIETA' DEI MERIDIANI

- 1) Un meridiano è mezzo circolo massimo le cui estremità coincidono con i poli. Due meridiani opposti (meridiano e antimeridiano) costituiscono un circolo massimo.
- 2) Tutti i meridiani seguono la direzione N-S
- 3) Tutti i meridiani si distanziano andando vs. equatore e convergono vs. i poli
- 4) Su un globo è possibile tracciare infiniti meridiani – per ogni punto sulla superficie del globo passa un meridiano unico.
- 5) Per convenzione si considerano 360 meridiani

SISTEMI GLOBALI DI COORDINATE

Servono localizzare un punto sulla superficie della Terra

SISTEMI GLOBALI DI COORDINATE GEOGRAFICHE: **LATITUDINE, LONGITUDINE, ALTEZZA**

Il meridiano fondamentale e l'equatore sono i piani di riferimento per definire la latitudine e la longitudine

Latitudine geodetica del punto P:

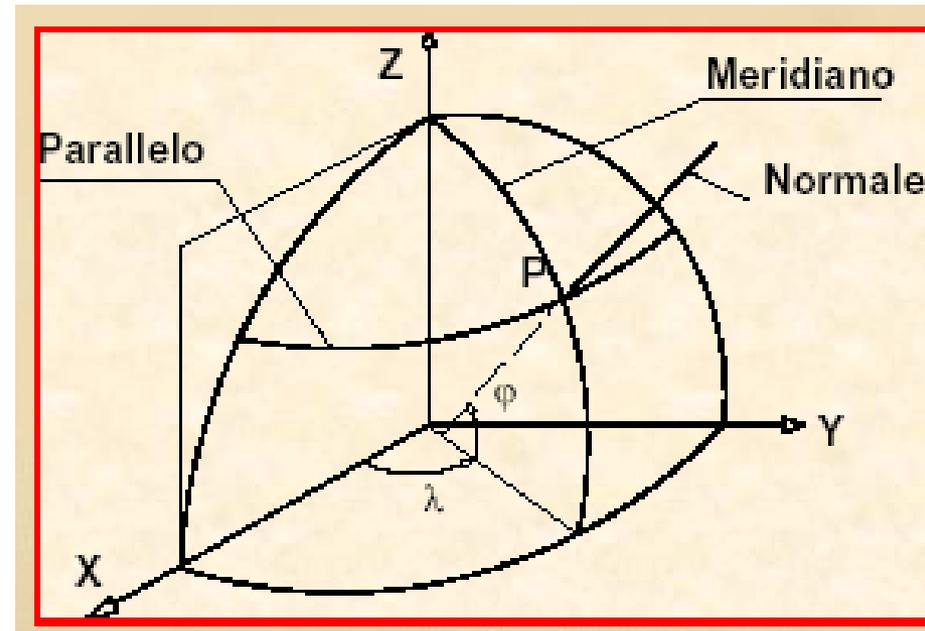
Angolo tra la normale all'ellissoide passante per il punto P e il piano equatoriale dell'ellissoide considerato.

Longitudine geodetica del punto P:

Distanza angolare di un punto da un determinato meridiano, misurata sull'arco di parallelo che passa per quel punto.

L'altezza geodetica del punto P:

Distanza dall'ellissoide di riferimento lungo la normale all'ellissoide stesso.



SISTEMI GLOBALI DI COORDINATE GEOGRAFICHE: LE COORDINATE CARTESIANE X, Y, Z

Per definire la posizione di un punto nelle tre dimensioni sulla superficie terrestre si può utilizzare anche un sistema di coordinate cartesiane.

L'asse Z:

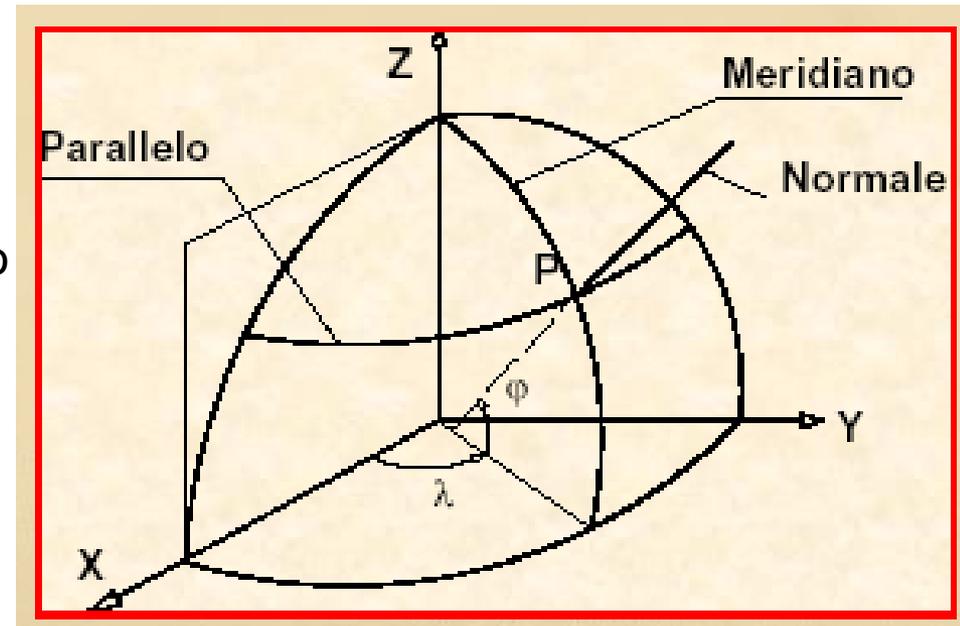
Punta verso il Polo Nord

L'asse X:

È definito dalla linea che parte dal centro dell'ellissoide di riferimento e raggiunge la superficie dell'ellissoide dove il meridiano fondamentale interseca l'equatore.

L'asse Y:

Si dispone ortogonalmente agli altri due, seguendo la regola della mano destra.



La superficie ellissoidica non è sviluppabile sul piano senza deformazioni, essendo una superficie a doppia curvatura.

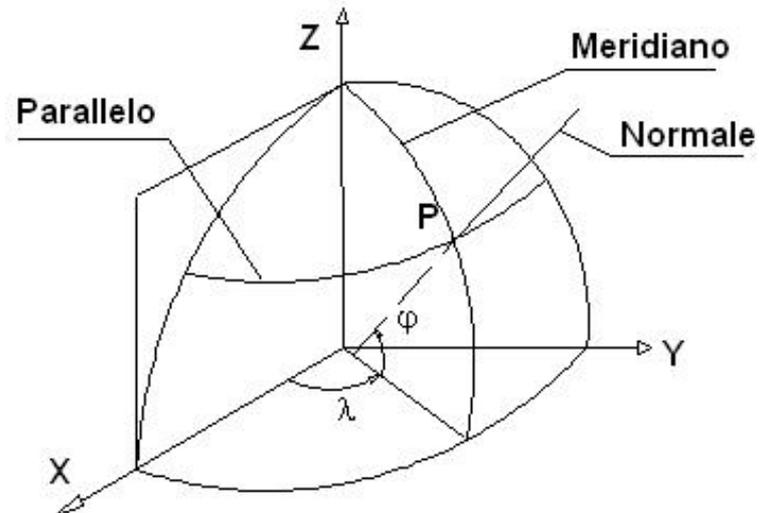
La definizione di un sistema di rappresentazione cartografica si basa allora sulla scelta di due funzioni (**f** e **g**), dette **equazioni della rappresentazione**, che permettono di calcolare le

coordinate piane ortogonali (coordinate cartografiche) x e y

per ogni punto di cui siano note le

coordinate geografiche (φ *latitudine* e λ *longitudine*)

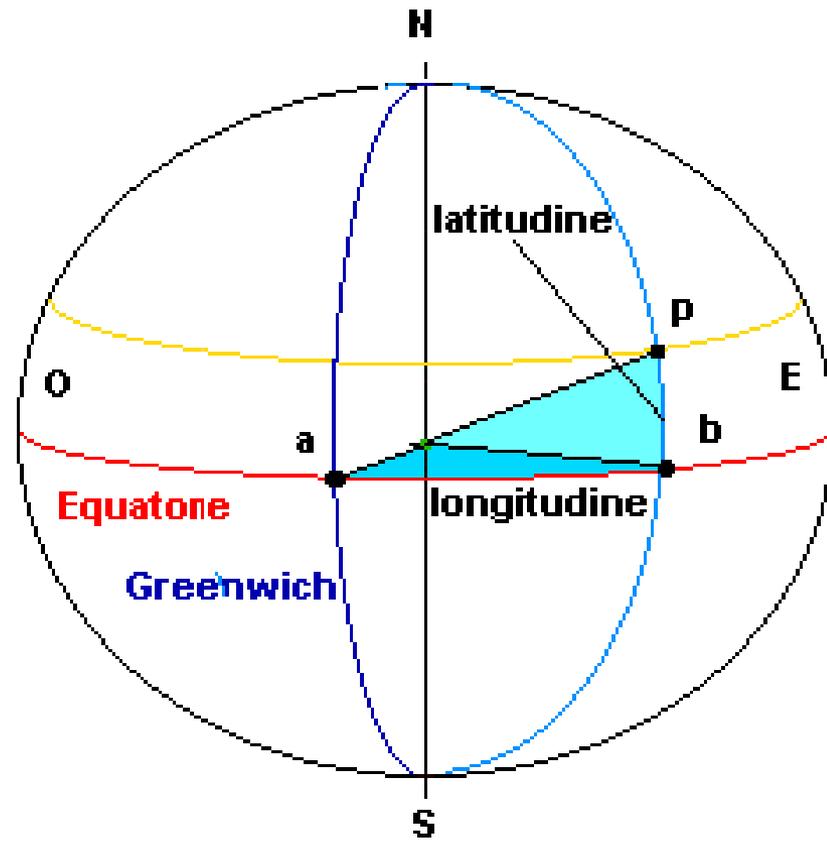
$$x = f(\varphi, \lambda) \quad y = g(\varphi, \lambda)$$



LONGITUDINE (λ)

Arco di parallelo (distanza angolare) misurato in gradi e frazioni di grado, compreso tra il punto considerato e il meridiano fondamentale (meridiano origine o meridiano zero).

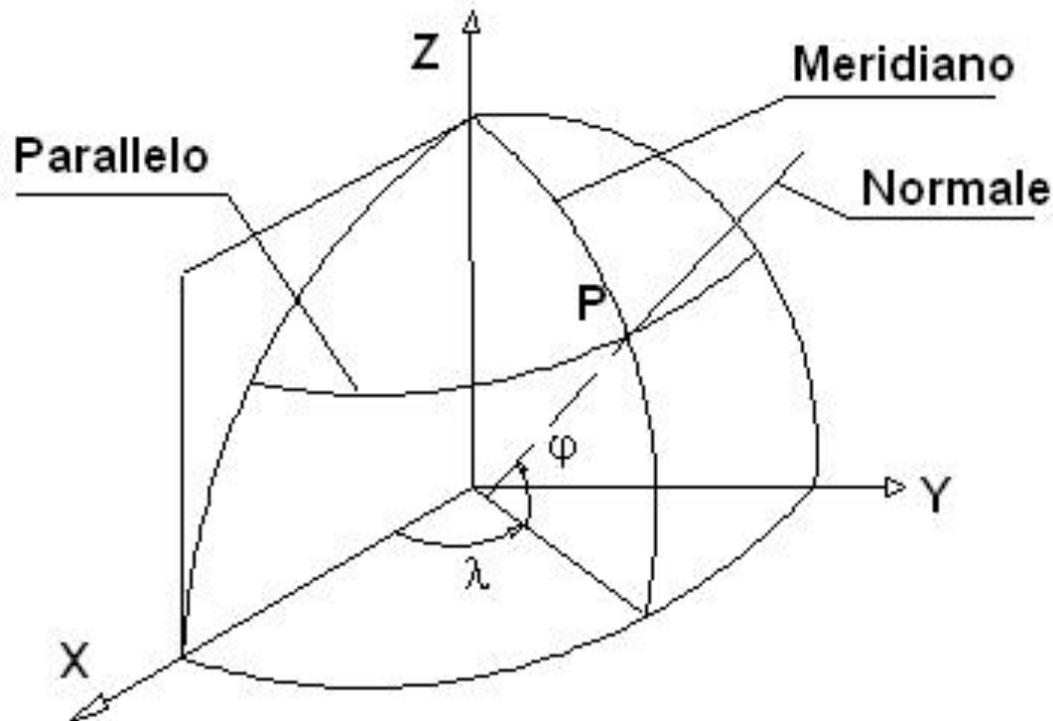
La longitudine di qualsiasi punto del globo, misurata a partire dal Meridiano fondamentale è l'arco di parallelo più breve verso Est o verso Ovest. Il Meridiano fondamentale ed il suo Antimeridiano dividono la terra in due emisferi. In tal modo, fissato 0° il Meridiano fondamentale e 180° l'Antimeridiano, si ottiene un intervallo di 0°- 180° a Est e 0°-180° a Ovest (Long. E e Long. O).



LONGITUDINE (λ)

Un meridiano rappresenta il luogo dei punti aventi la medesima λ .

La lunghezza **chilometrica** di 1 grado di longitudine dipende dal parallelo sul quale si misura, ovvero dalla latitudine cui ci si riferisce.

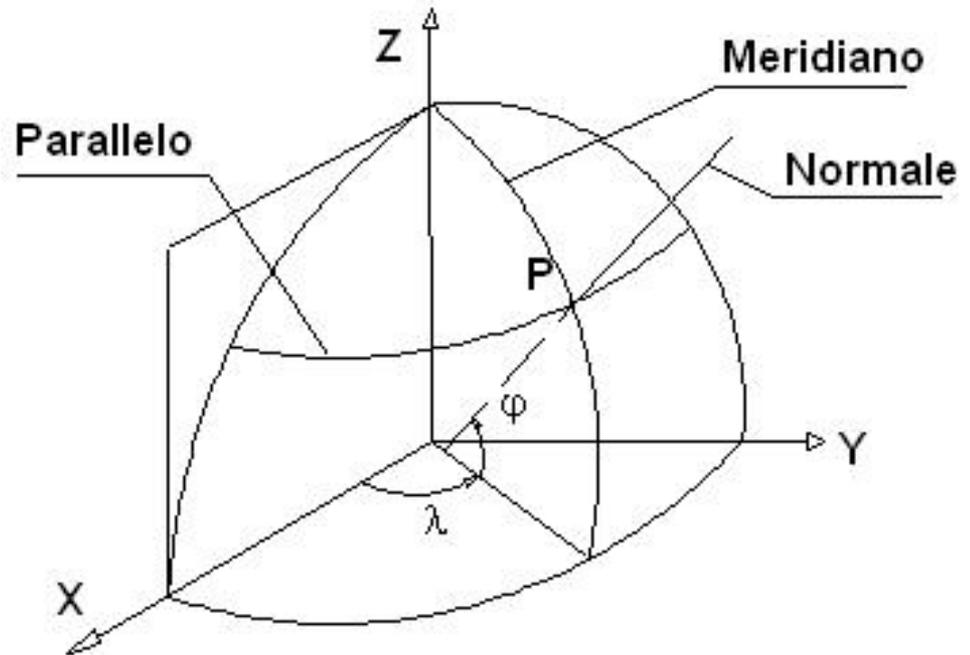


LATITUDINE (φ)

Arco di meridiano (distanza angolare) misurato in grado e frazioni di grado compreso tra il punto considerato e l'equatore.

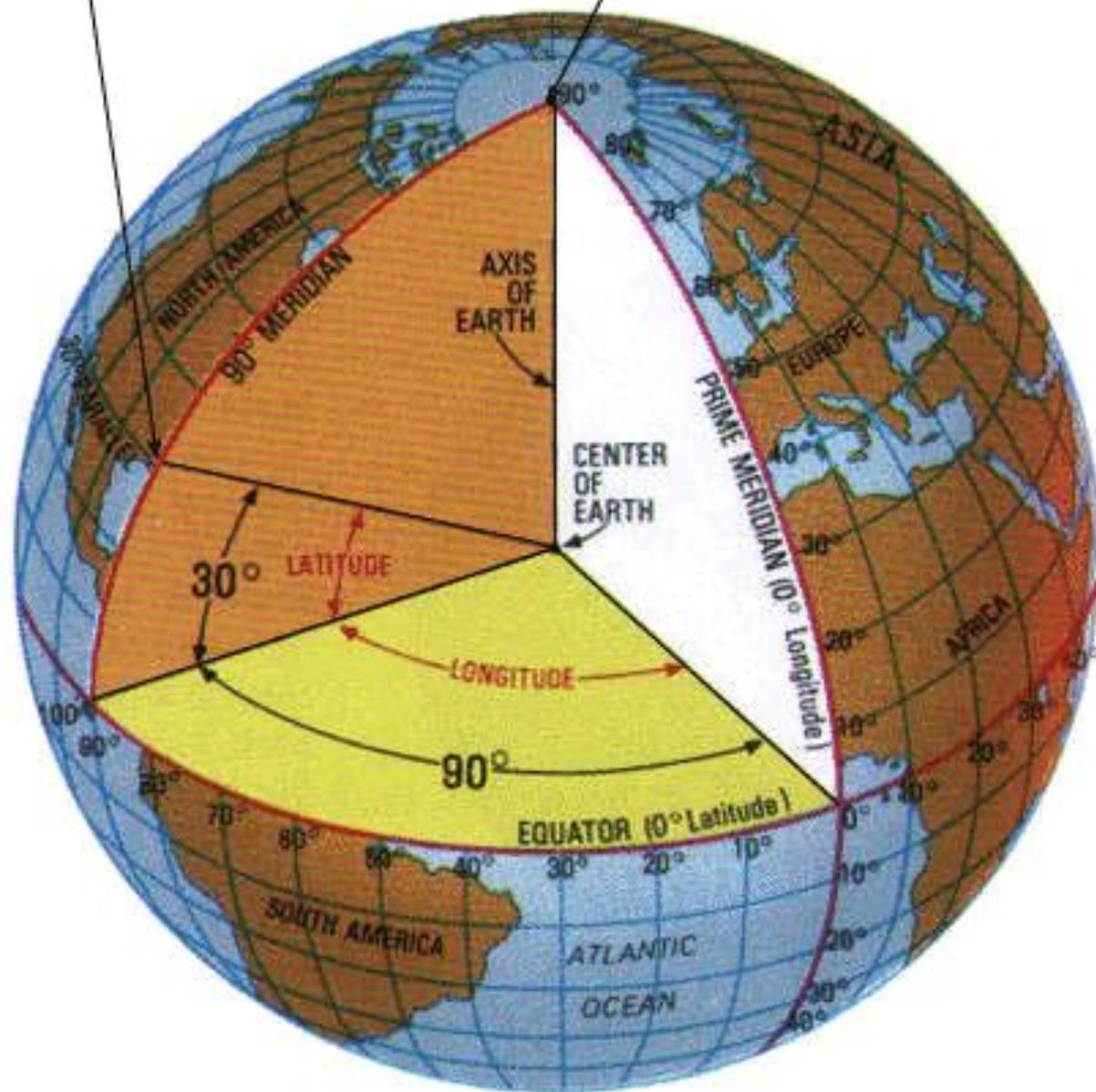
Poiché l'equatore divide la terra in due emisferi si distingue una latitudine nord, da 0° a 90° N. e una latitudine sud, da 0° a 90° S.

La lunghezza in chilometri di 1 grado di latitudine dovrebbe essere identica, ma in realtà aumenta verso i poli a causa dello schiacciamento polare terrestre.



NEW ORLEANS
(30° N. Latitude, 90° W. Longitude)

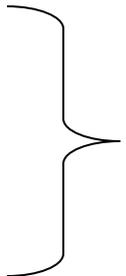
NORTH POLE (90° N. Latitude)



CONVERSIONI TRA SISTEMI DI RIFERIMENTO

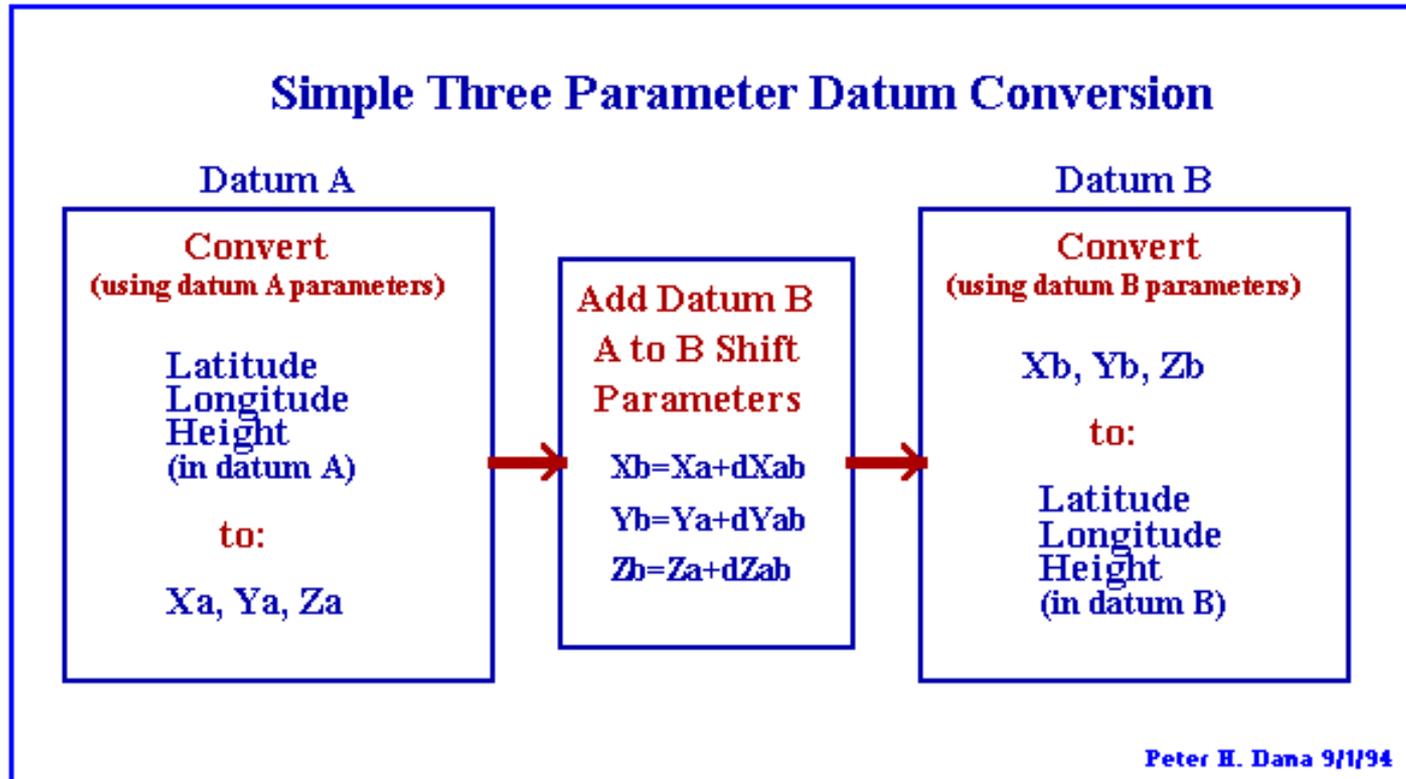
La conversione può essere effettuata in vari modi. Una conversione completa è basata su 7 parametri di trasformazione, che includono:

3 parametri traslativi
3 parametri rotazionali
+ 1 parametro di scala



rototraslazione

In realtà i soli 3 parametri traslativi possono essere utilizzati per passare dal sistema Lat-Long-Alt al sistema X-Y-Z.



È possibile quindi passare da un sistema di riferimento a un altro utilizzando come mediatore il sistema X-Y-Z cartesiano. Questo metodo permette di utilizzare solo 3 dei 7 parametri necessari per questa conversione.

PROIEZIONI CARTOGRAFICHE

Le PROIEZIONI cartografiche permettono di trasferire su un piano una superficie “non sviluppabile” terrestre

Le proiezioni cartografiche permettono di ottenere le **CARTE** (geografiche, topografiche, eccetera) che sono delle rappresentazioni **ridotte**, **approssimate** (è impossibile sviluppare senza errori una superficie sferica) e **simboliche** (perché elementi geografici, fisici e antropici sono rappresentati con colori e segni del tutto convenzionali) della superficie terrestre.

Sistemi di proiezione

Proiezioni prospettiche

Il reticolato geografico viene rappresentato applicando le leggi della geometria proiettiva. La rappresentazione planimetrica è l'immagine di un emisfero, o di una parte di esso, ottenuta da un determinato punto di vista e proiettata su di un piano, che è tangente al centro della zona che si vuol rappresentare.

Proiezioni di sviluppo

La rappresentazione planimetrica è ottenuta proiettando tutta o parte della superficie terrestre su un'altra superficie curva sviluppabile su un piano (proiezioni cilindriche per cilindro e proiezioni coniche per coni), dove i due solidi sono idealmente secanti o tangenti il globo terrestre.

Sono abitualmente usate per le carte corografiche

Le proiezioni di sviluppo possono essere modificate, quando si modificano le equazioni della carta in funzione di esigenze specifiche.

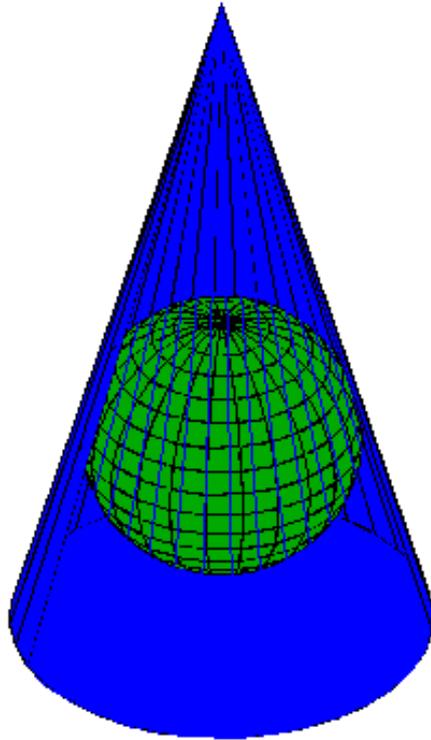
Le **proiezioni** tendono generalmente a mantenere inalterato un parametro fondamentale che può essere:

- **Area** (carte equivalenti o autaliche: le aree riprodotte sono equivalenti a quelle reali)
- **Angoli** (proiezioni conformi o isogoniche: ogni porzione della superficie terrestre conserva la stessa forma che possiede sul globo. Laddove non si verifica deformazione angolare delle superfici la carta è detta isogonica o autogonale)
- **Distanze** (proiezioni equidistanti: in una carta equidistante sono mantenute inalterate le distanze lungo direzioni particolari, ad esempio lungo i meridiani)

La carta afillattica non è né conforme né equivalente, né equidistante. È costruita in modo da mantenere piccole tutte le deformazioni.

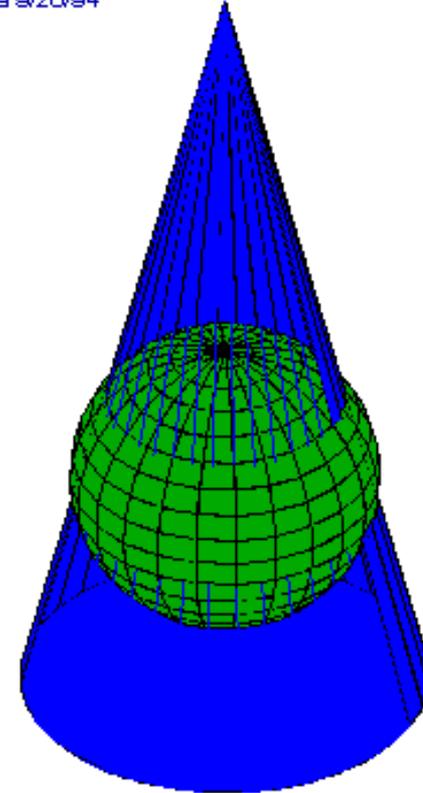
Proiezioni CONICHE

Peter H. Dana 9/20/94



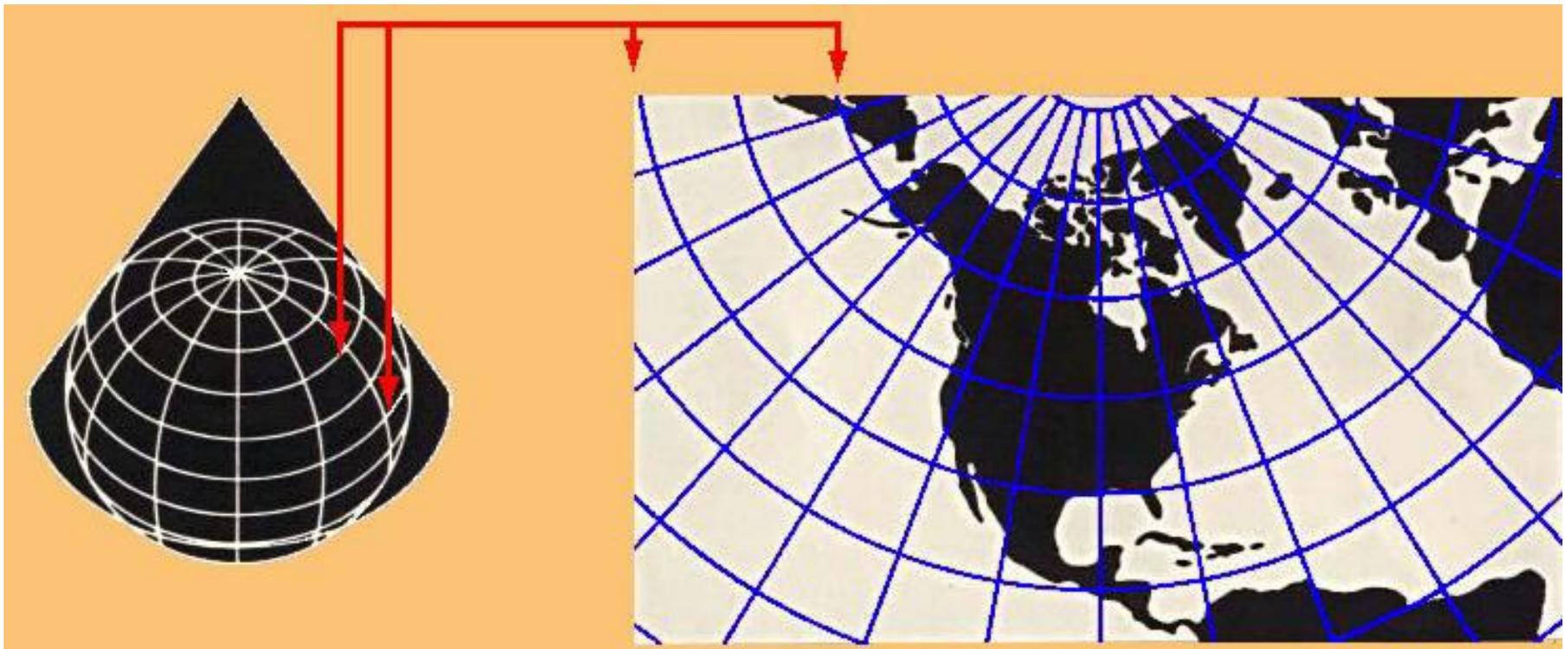
Conical Projection Surface

Peter H. Dana 9/20/94

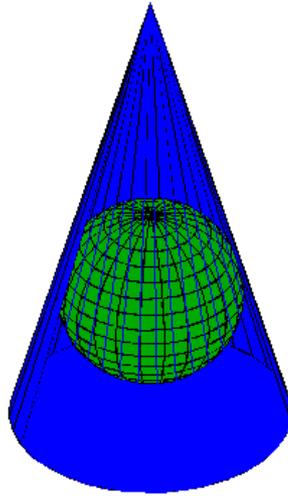


Secant Conic Projection

Il reticolato viene proiettato nella parte interna di un cono tangente o secante il globo lungo un circolo minore, generalmente alle medie latitudini. I paralleli vengono proiettati come archi di cerchio concentrici. I meridiani sono invece proiettati come rette che si irradiano dalla zona centrale e spaziate con angoli regolari.

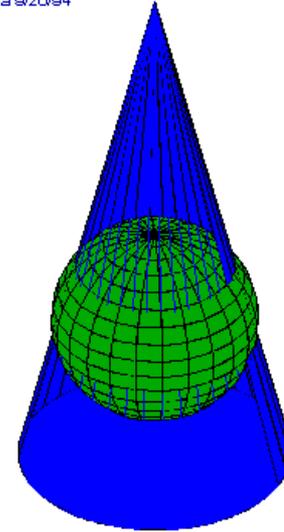


Peter H. Dana 9/20/94



Conical Projection Surface

Peter H. Dana 9/20/94



Secant Conic Projection

Tra le più diffuse si trovano le proiezioni coniche secanti, prodotte a partire da due paralleli standard. La scala delle mappe ottenute da queste proiezioni ***aumentano la loro distorsione con l'aumentare della distanza dai paralleli standard.***

Data questa peculiarità, le proiezioni coniche sono utilizzate prevalentemente per rappresentare regioni alle medie latitudini e specialmente quelle che hanno una distribuzione Est-Ovest. Molte carte degli U.S.A. sono costruite a partire da proiezioni coniche.

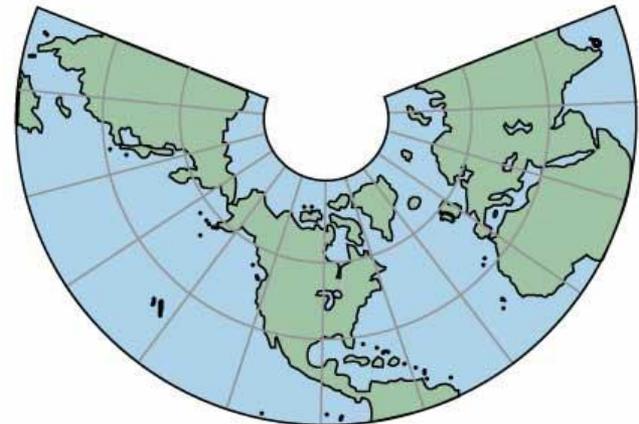
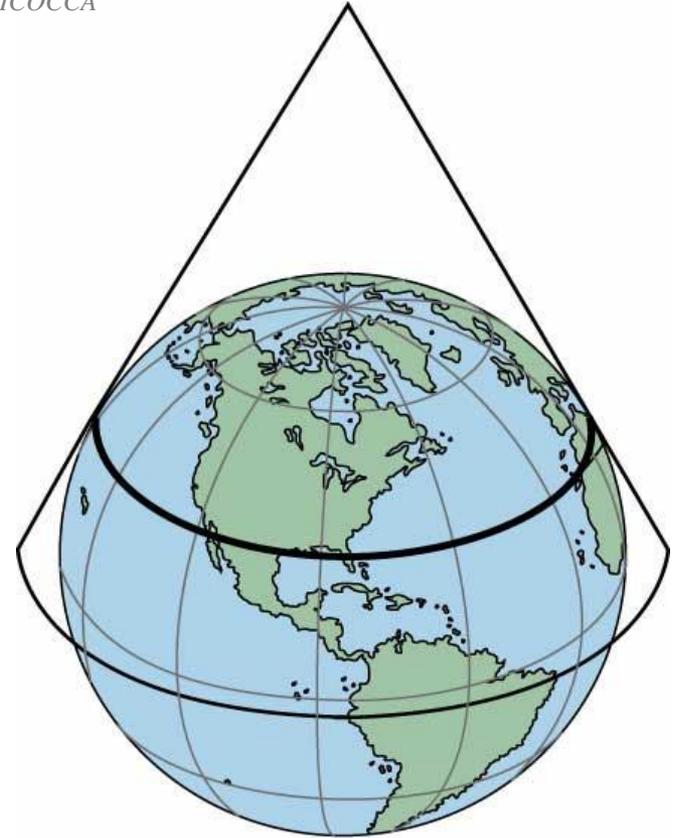
Le proiezioni coniche hanno subito una serie di modificazioni:

- variazione del modo con cui vengono scelti i paralleli standard e le altre costanti

- Variazione nella spaziatura dei paralleli per ottenere dei compromessi arbitrari di distorsione

- Adattamento delle proiezioni coniche sia alla sfera che all'ellissoide

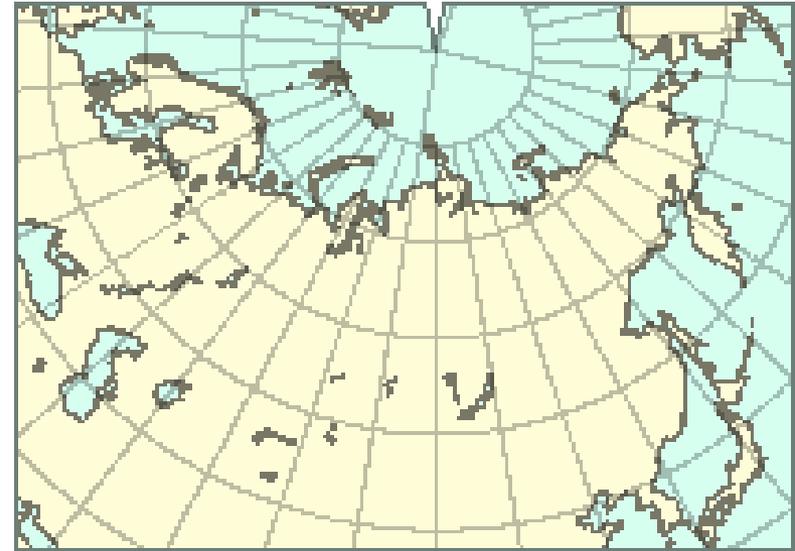
- Sviluppo di proiezioni pseudoconiche, come la proiezione di Bonne o altre, che non sono vere coniche



PROIEZIONI EQUIDISTANTI O CONICHE SEMPLICI

Caratteristiche:

- Coniche
- Paralleli spazati uniformemente
- Né conformi né equalarea
- Meridiani equidistanti che convergono in un punto comune



Queste proiezioni sono state sviluppate da De L'isle e originate all'interno dell'U.S. Costal Survey. Sono state utilizzate per produrre carte e fogli di aree ridotte fino a circa il 1882.

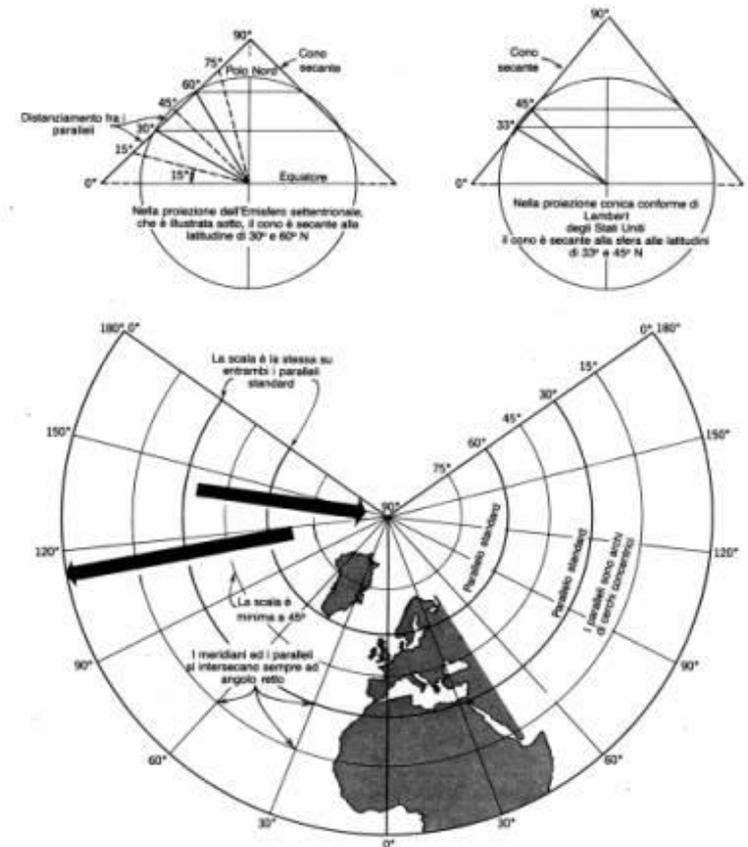
Sono state utilizzate come base per la produzione di mappe di piccole e medie regioni nel secolo passato sia negli U.S.A. , sia in Canada, sia in Europa.

PROIEZIONE CONICA CONFORME DI LAMBERT

Caratteristiche: conica, conforme

Sviluppata da Johann Heinrich Lambert (1772), è stata praticamente sconosciuta per oltre un secolo. La Prima Guerra Mondiale ha dato nuova vita a questa proiezione trasformandola in una proiezione "standard" per mappe a media e larga scala di regioni delle medie latitudini, seconda solo alla proiezione trasversa di Mercatore.

E' una proiezione (conica) con due paralleli standard; in questo modo si ottiene un miglioramento delle caratteristiche di scala. Si tratta di una rappresentazione conforme utilizzata soprattutto nella navigazione aerea.



PROIEZIONE CONICA EQUALAREA DI ALBERS

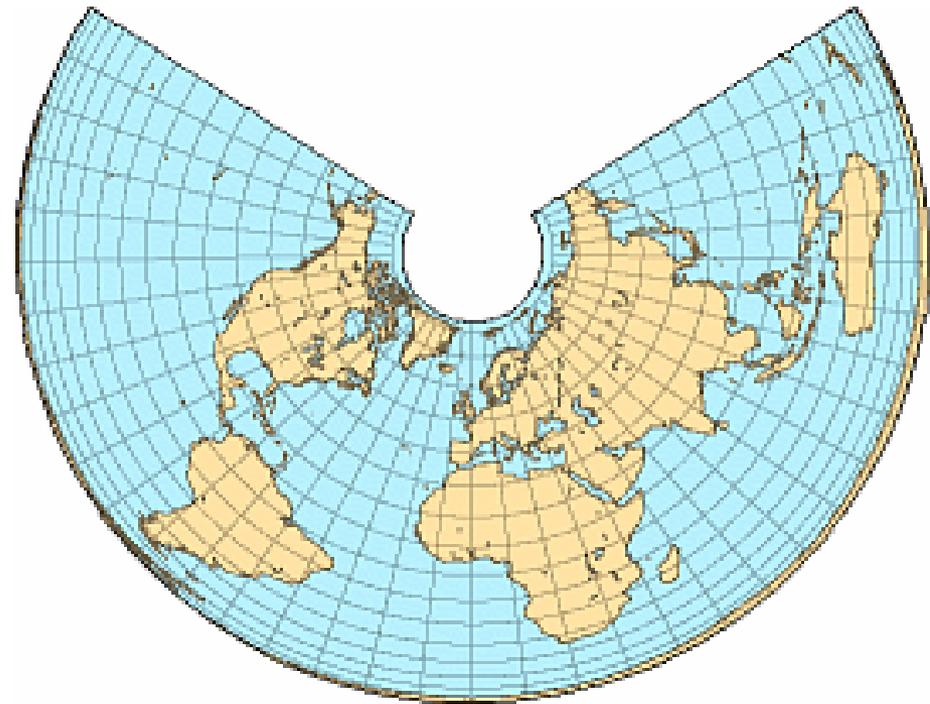
Caratteristiche:

-Conica, equalarea

Heinrich C. Albers (1773-1833)

Mantiene invariati i rapporti tra le aree.

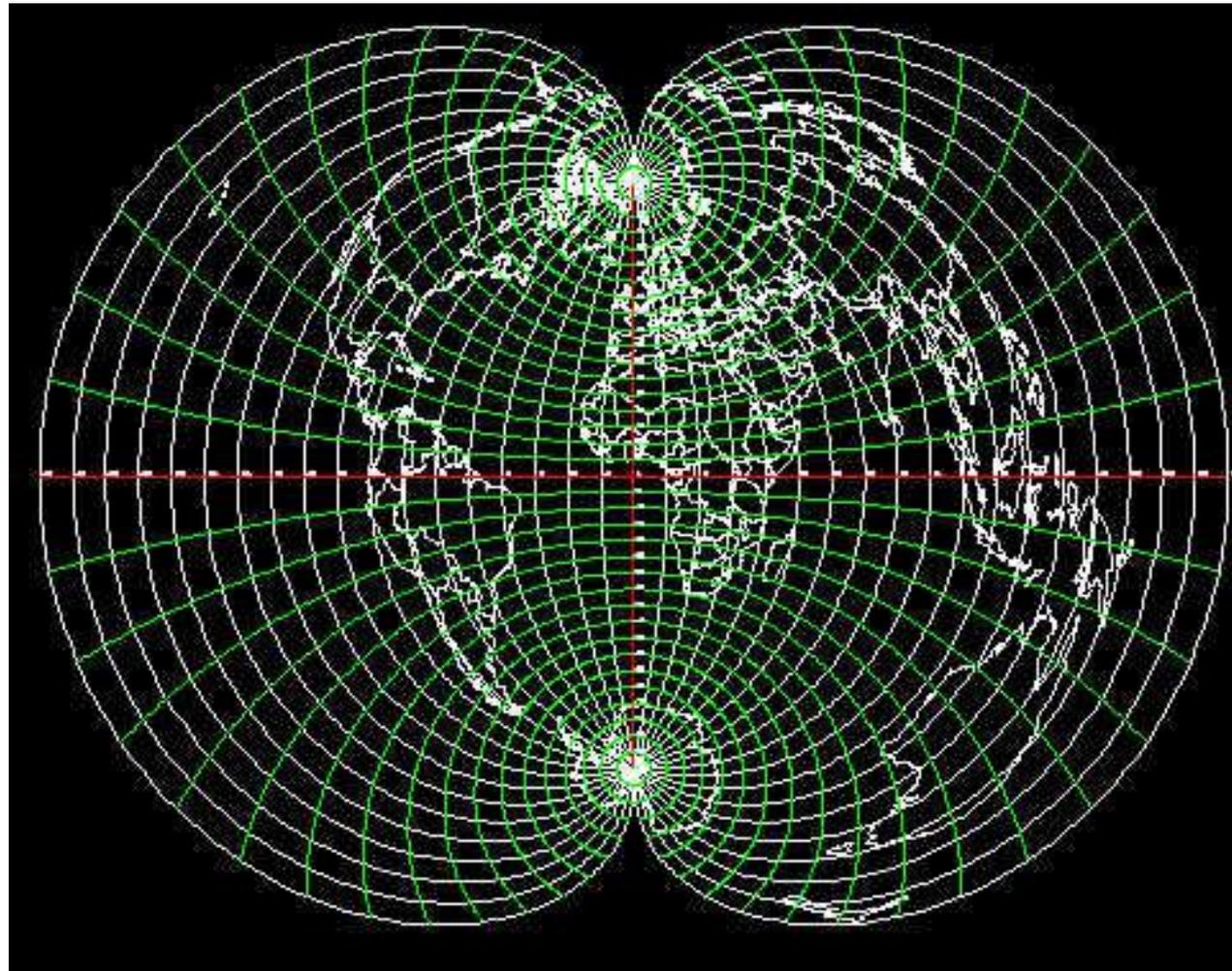
La distorsione è minima lungo il parallelo centrale e nulla sui paralleli standard. Se i paralleli standard sono ubicati nei due emisferi e sono equidistanti dall'equatore la proiezione diventa cilindrica equalarea.



PROIEZIONE POLICONICA

- Policonica** (proiezione con archi circolari per paralleli di latitudine che non sono concentrici)
- Né conforme, né equalarea**

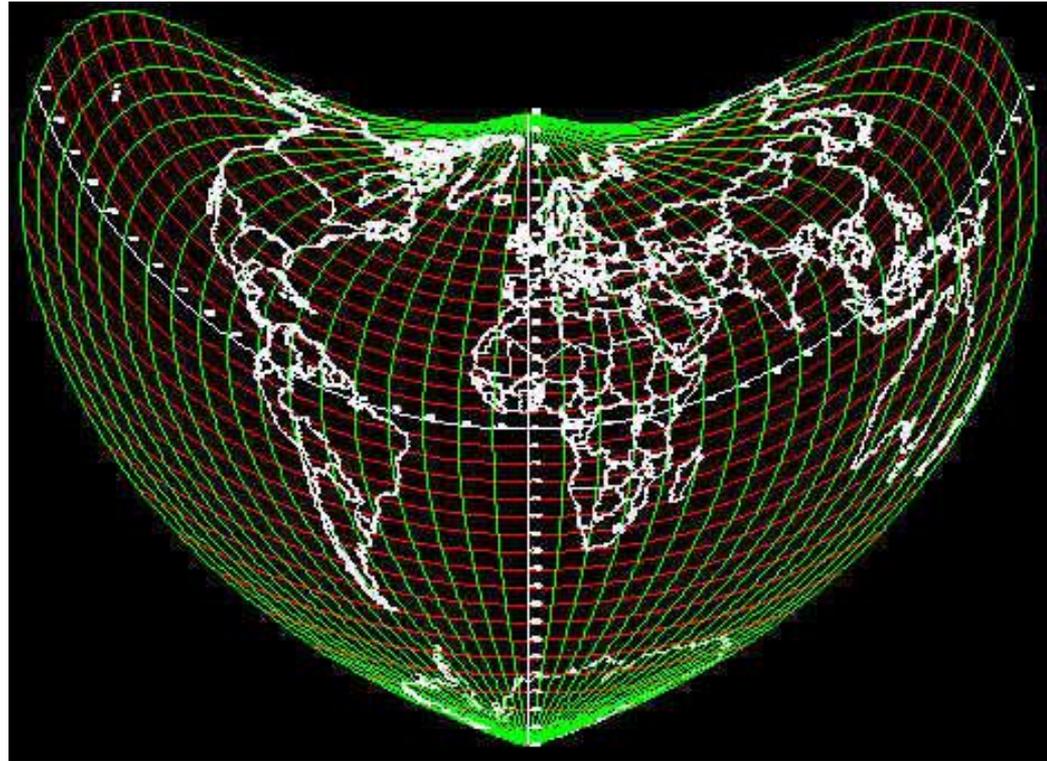
La proiezione policonica di Hessler è applicabile sia alle sfere sia agli ellissoidi. Non è conforme né equalarea. È libera da distorsioni lungo il meridiano centrale. Viene solitamente utilizzata nelle regioni con estensione N-S



PROIEZIONE di BONNE

- Pseudoconica
- Equalarea

Austria-Ungheria (1:750.000)
Belgio (1:20.000)
Danimarca (1:20.000)
Italia (1: 500.000)
Olanda (1:25.000)
Russia (1:126.000)
Spagna (1:200.000)
Svizzera (1:25.000 e 1:50.000)
Scozia e Irlanda (1:63.360 e minori)
Francia (1:80.000 e 1:200.000)

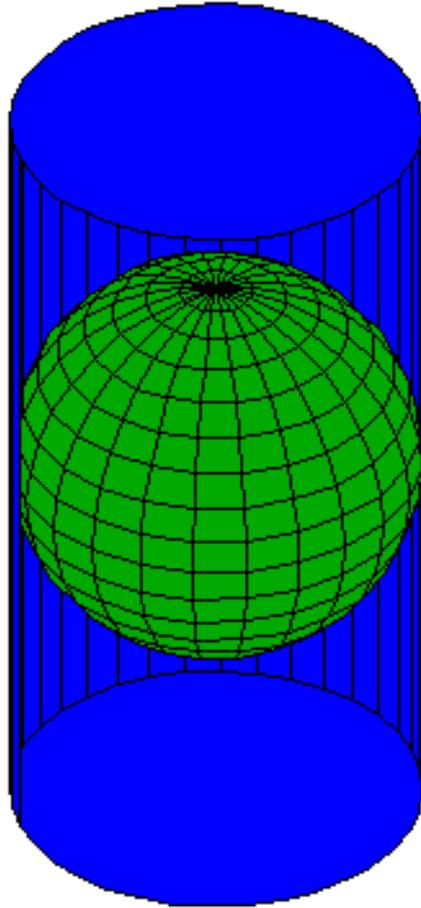


È la proiezione preferita per la rappresentazione di mappe ed atlanti di ampie regioni e continenti, avendo scala uniforme su tutta la mappa ed avendo un reticolato composto da meridiani e paralleli curvi, che danno un senso di rappresentazione dell'intero pianeta. Più della metà delle mappe dei continenti più popolati sono state realizzate utilizzando la proiezione di Bonne, invece nessuna mappa dell'Africa mostra questa proiezione.

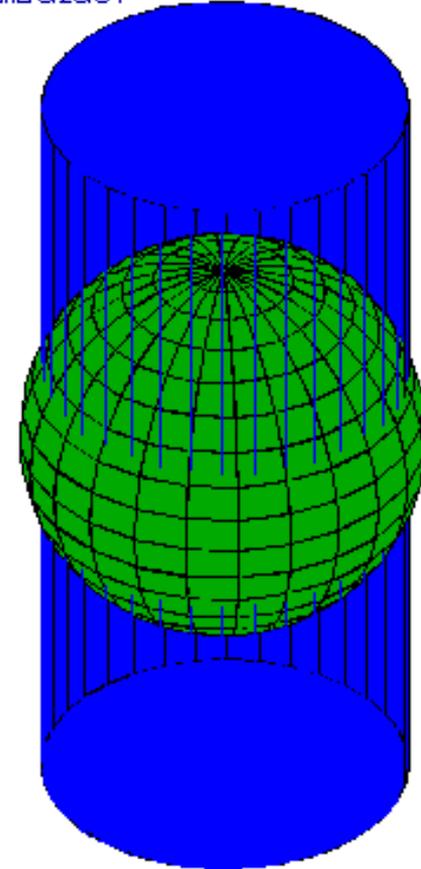
Proiezioni CILINDRICHE

Peter H. Dana 9/20/94

Peter H. Dana 9/20/94

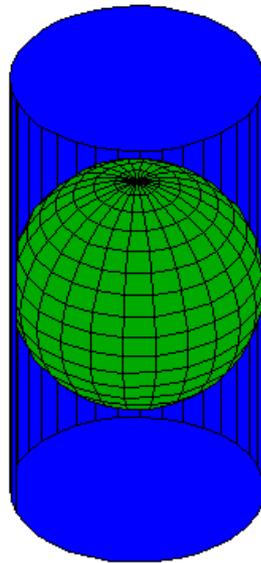


Cylindrical Projection Surface



Secant Cylindrical Projection

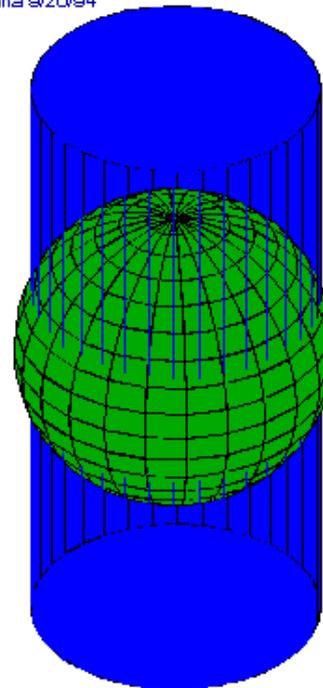
Possono essere immaginate come un semplice cilindro orientato N-S che inviluppa il nostro Pianeta tangentialmente all'Equatore. Se le linee della latitudine e longitudine fossero proiettate sulla parte interna del cilindro, si otterrebbe un reticolo di linee rette che si incrociano tra loro. I meridiani della longitudine, paralleli, sarebbero regolarmente spaziati, invece i paralleli della latitudine rimarrebbero paralleli anch'essi ma non presenterebbero una spaziatura regolare.



Peter H. Dana 9/20/94

Cylindrical Projection Surface

tangenti o secanti l'equatore, chiamate
regolari o normali



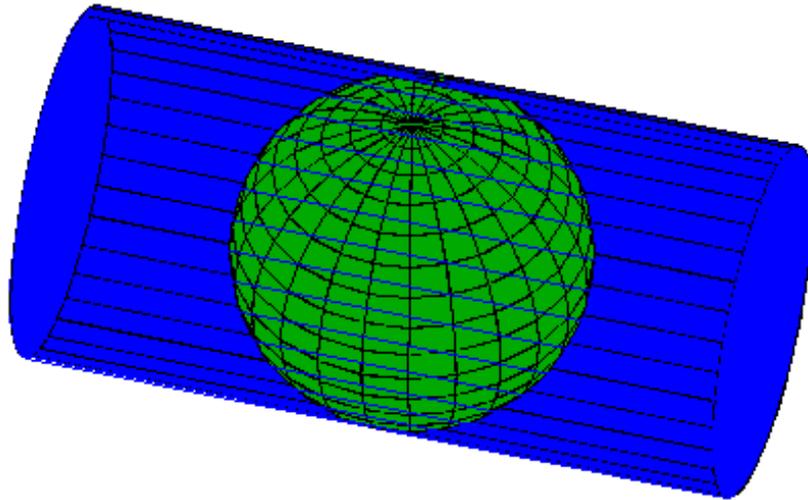
Peter H. Dana 9/20/94

Secant Cylindrical Projection

Proiezioni CILINDRICHE TRASVERSE

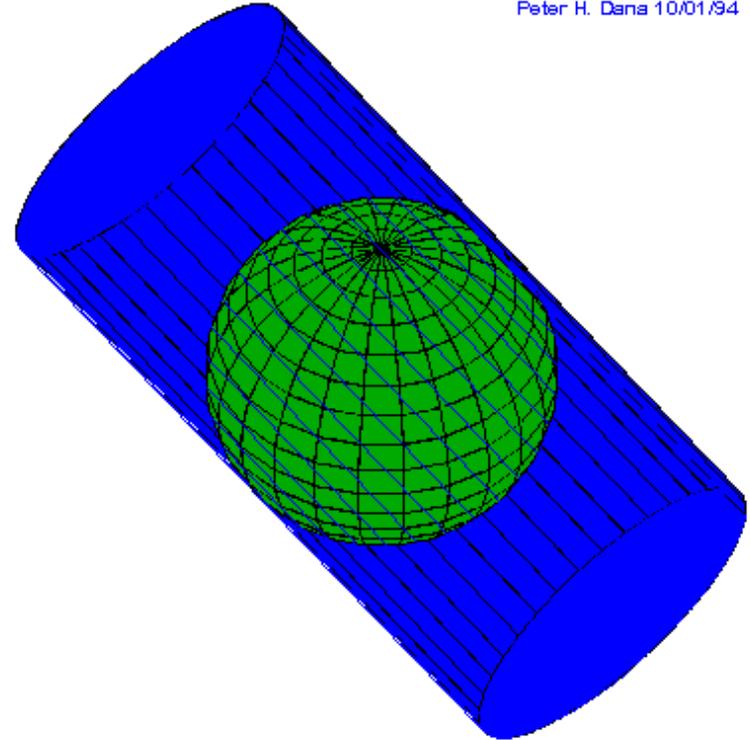
Peter H. Dana 10/01/94

Peter H. Dana 10/01/94



**Transverse Cylindrical
Projection Surface**

tangenti o secanti un meridiano
(traverse)



**Oblique Cylindrical
Projection Surface**

tangenti o secanti un altro cerchio massimo
(oblique)

Proiezioni CILINDRICHE REGOLARI

Caratteristiche:

- le linee della latitudine e longitudine sono parallele e si intersecano a 90°
- I meridiani sono equidistanti
- La forma delle mappe è rettangolare
- La scala lungo l'equatore o i paralleli standard è vera (reale)
- È una costruzione semplice
- Può essere equidistante, conforme o equalarea

Proiezioni EQUIRETTANGOLARI

Caratteristiche:

- Si tratta della proiezione più vecchia e semplice
- i paralleli sono spazati regolarmente
- presenta un reticolato quadrato

Proiezione di MERCATORE

Caratteristiche:

-Conforme

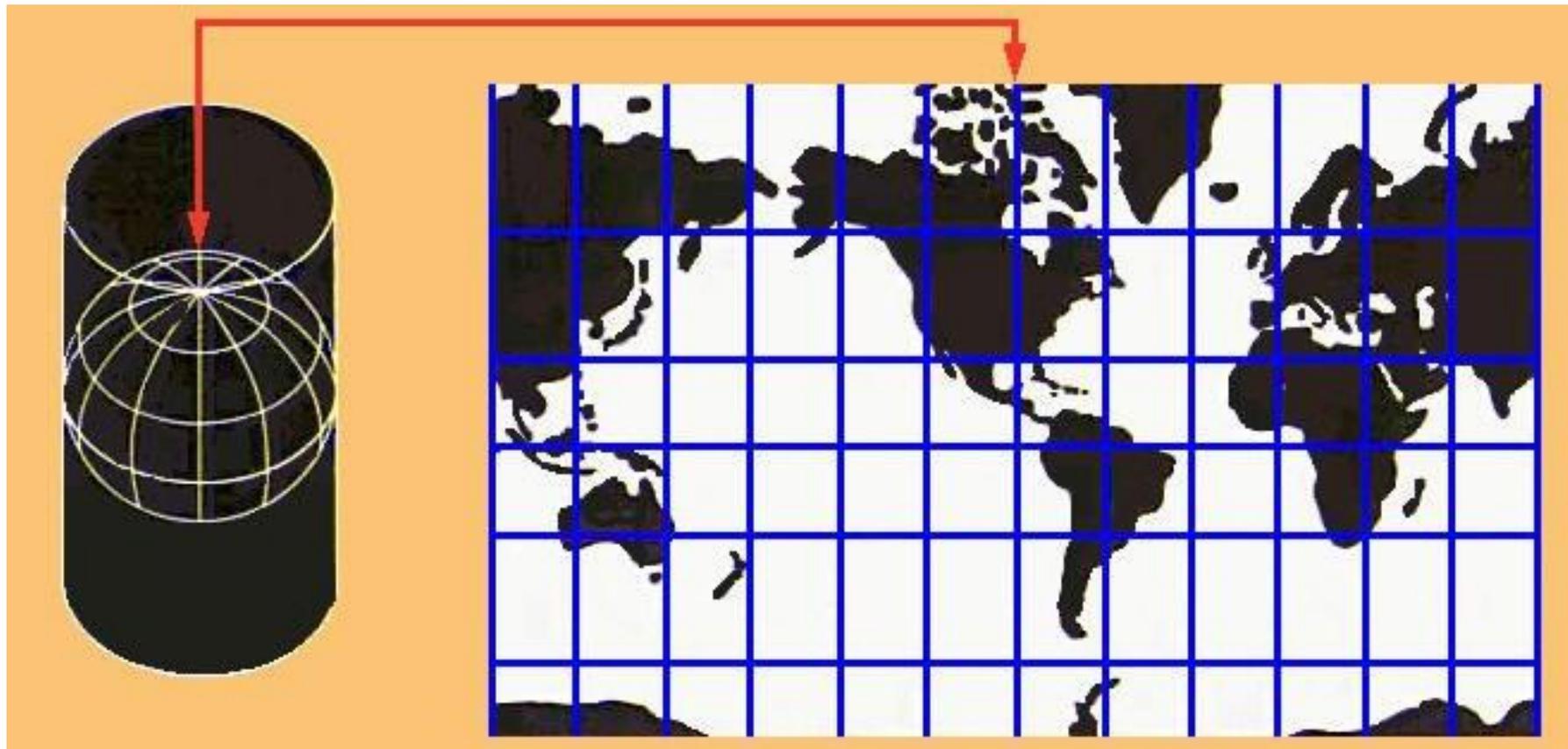
-I meridiani rimangono equidistanti, mentre i paralleli, spostandosi dall'Equatore ai Poli, si allontanano reciprocamente in proporzione a quanto la distanza dei meridiani è maggiorata sulla carta rispetto alla realtà. Questa proiezione rende la carta conforme, ma le superfici si deformano sempre più con l'avvicinarsi ai Poli (ad esempio la Groenlandia appare più vasta dell'America Meridionale).

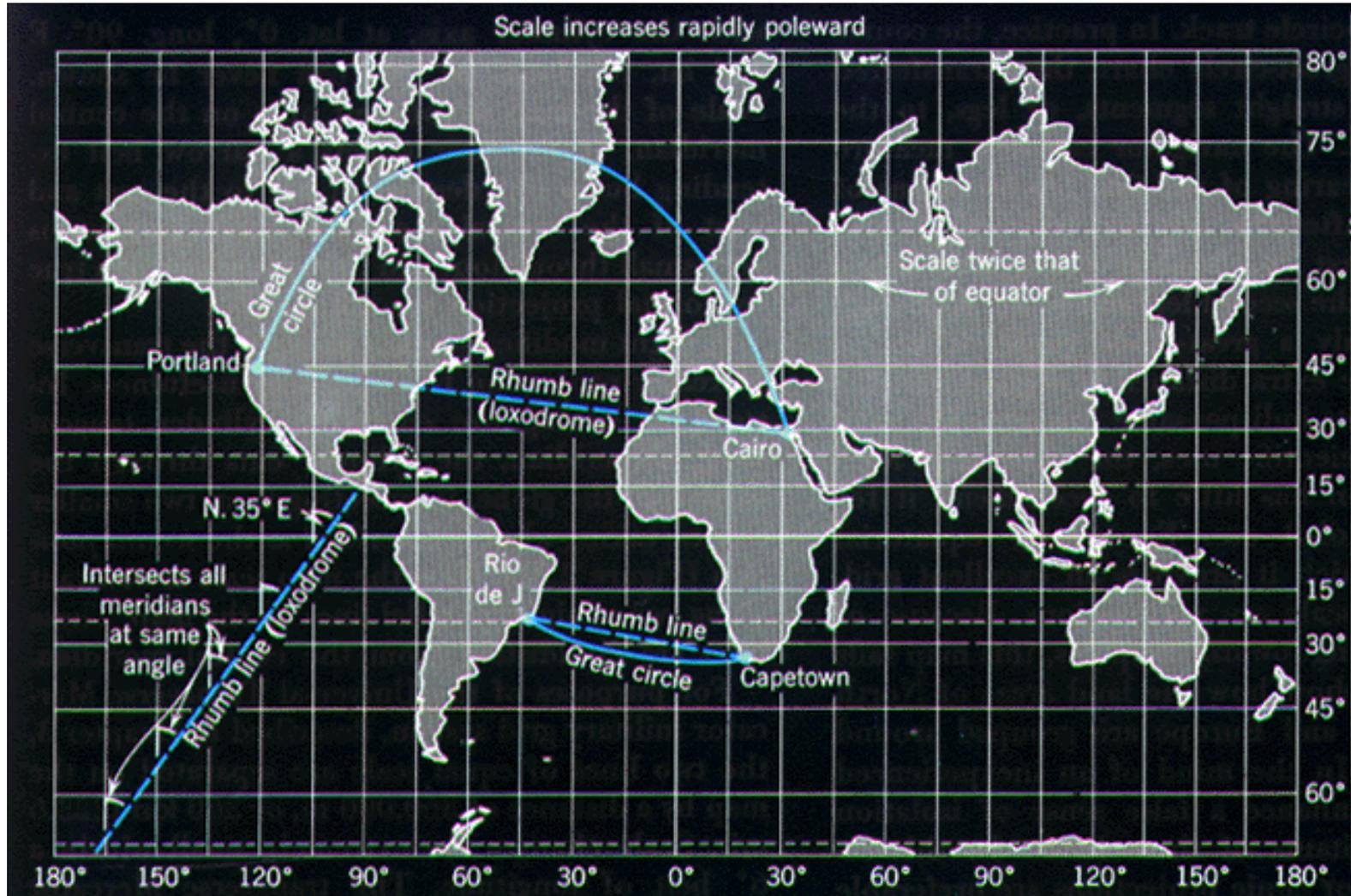
Proiezione di MERCATORE

Fu ideata nel XVI secolo dal mercante viaggiatore fiammingo GERARD KREMER detto IL MERCATORE che apportò alla proiezione cilindrica le modifiche necessarie per renderla adatta alla navigazione. Nacque così la CARTA DI MERCATORE.

La carta di Mercatore ha alcuni difetti:

- non può essere utilizzata alle alte latitudini perché deforma esageratamente la zona da rappresentare
- non può rappresentare le zone polari. Generalmente usata per mappare le regioni equatoriali, gli oceani e il mondo nel 19° secolo.



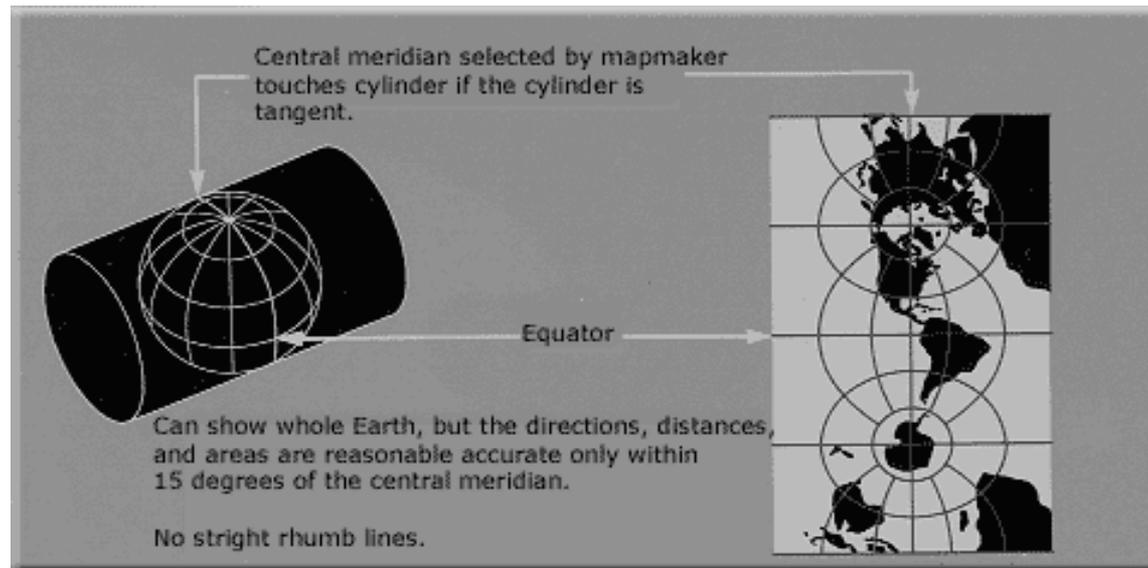


Proiezione trasversa di Mercatore

- Proiezione cartografica cilindrica (Proiezione di Mercatore ruotata di 90°). Il cilindro di proiezione è perpendicolare all'asse di rotazione terrestre. I paralleli sono pertanto equamente distanziati.

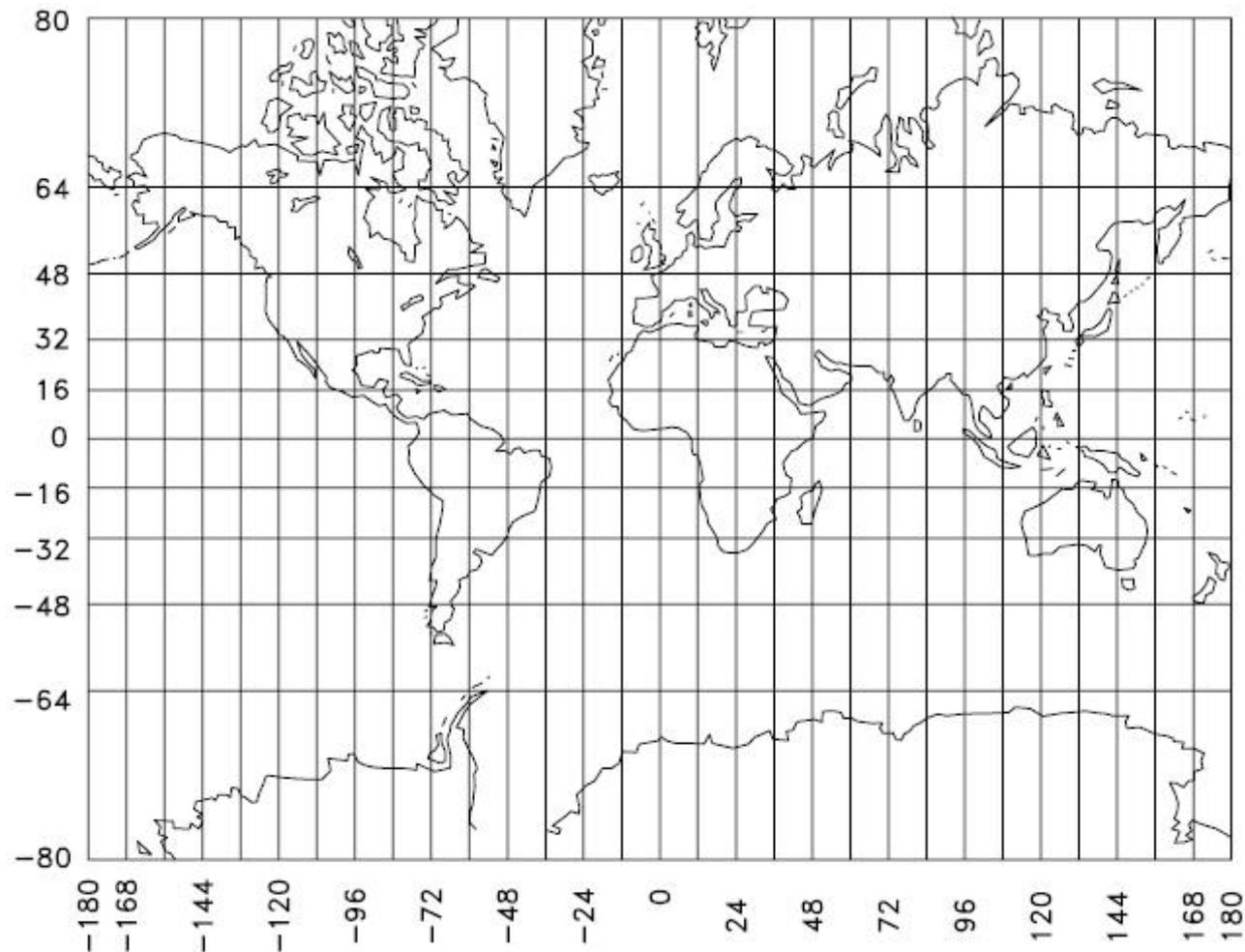
-Applicata prevalentemente a rappresentazioni sferiche
-Conforme

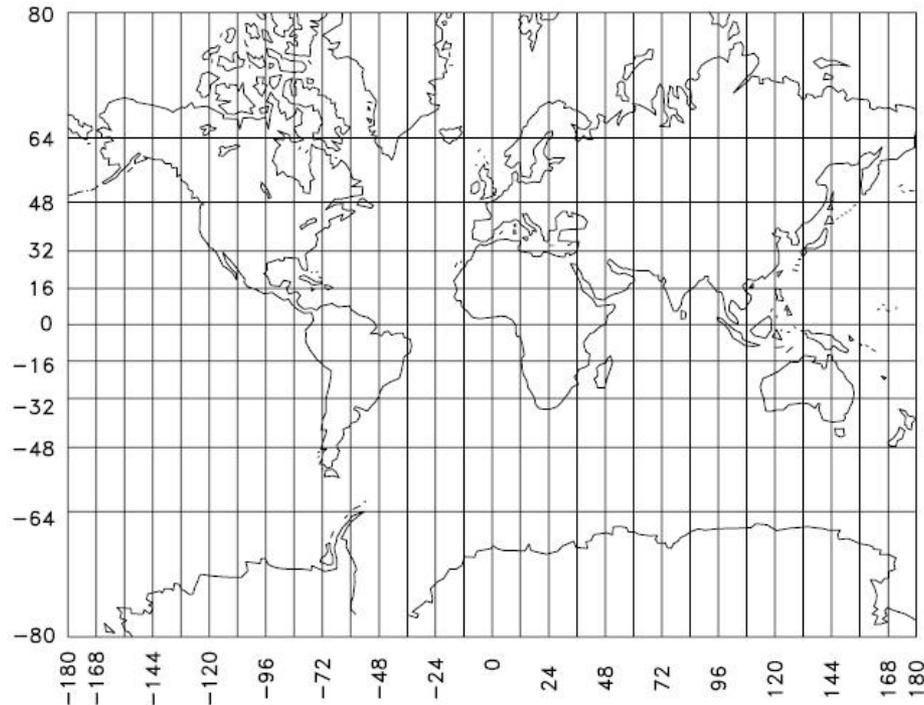
Inventata nel 1772 da Lambert, modificata per l'ellisse da Gauss nel 1822 e da Kruger nel 1912. Utilizzata per regioni con espansione N-S. Utilizzata per le carte topografiche.



In tale proiezione, meridiani e paralleli sono rettilinei e perpendicolari fra loro, ma i paralleli, invece di avvicinarsi nelle regioni polari si allontanano. Quindi, i meridiani rimangono equidistanti, mentre nella realtà si avvicinano gradualmente fra loro verso latitudini crescenti.

Di conseguenza i paralleli s'allontanano l'un l'altro nella proporzione di quanto la distanza dei meridiani è maggiorata sulla carta rispetto alla realtà.



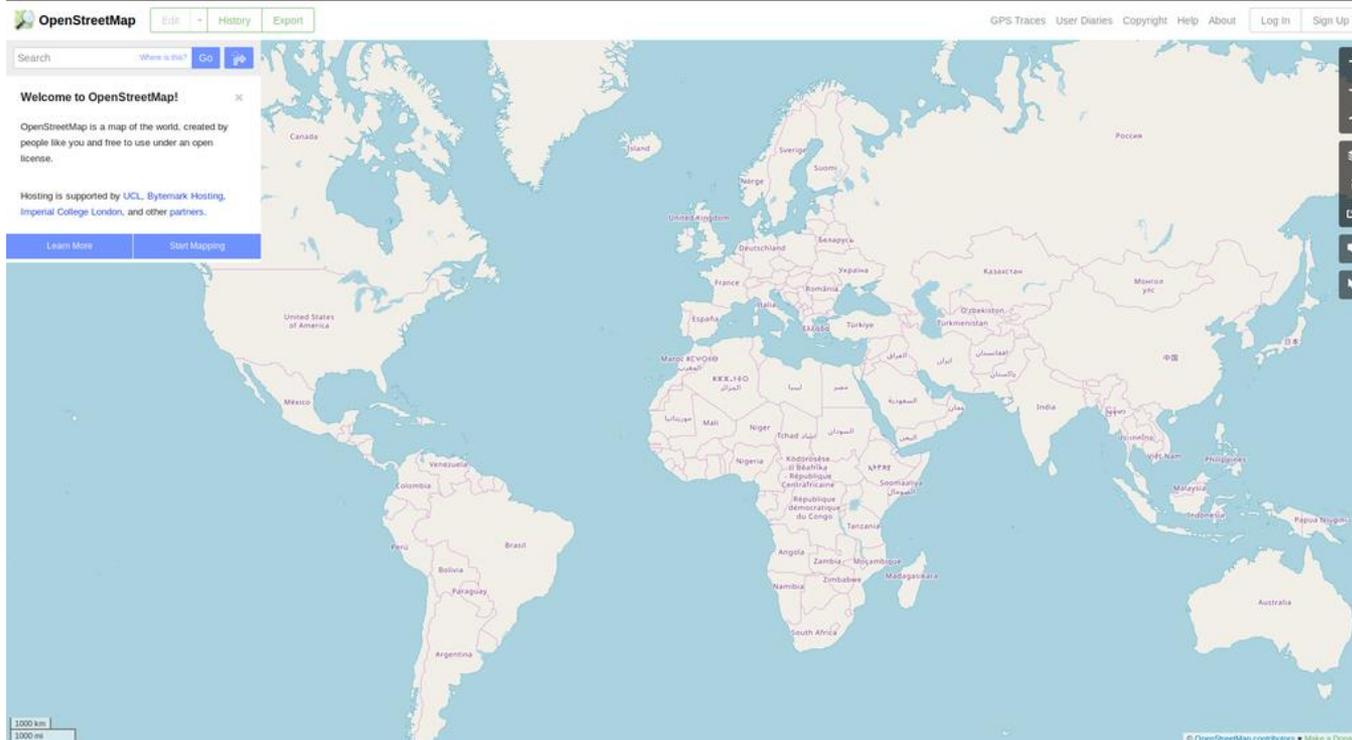
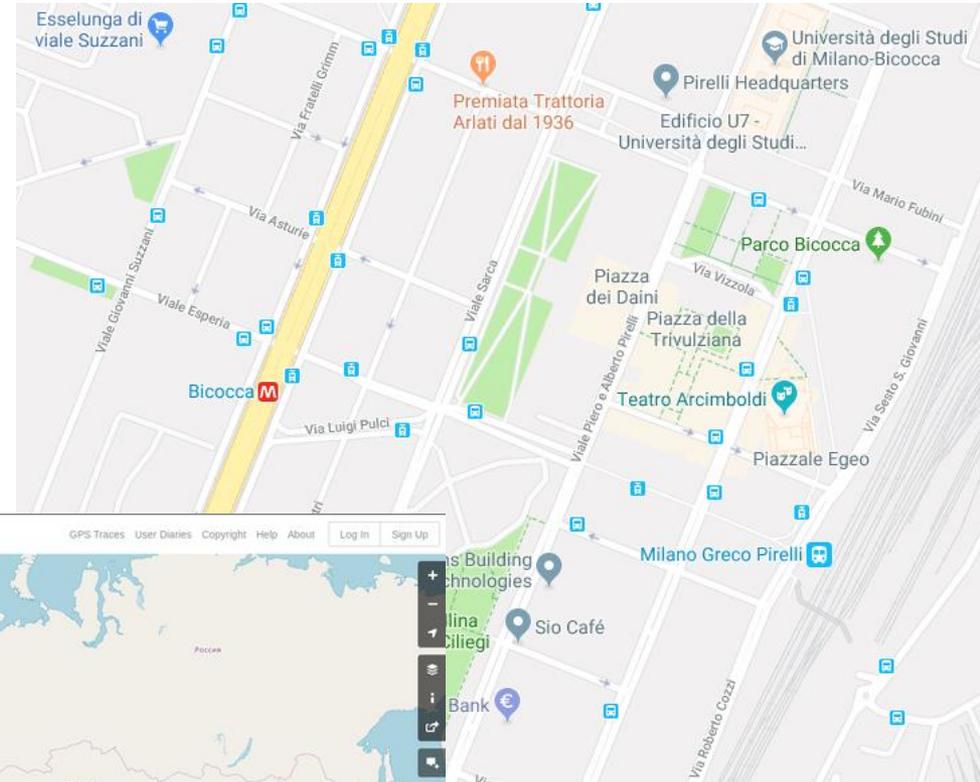


i meridiani risultano paralleli fra di loro

i paralleli normalmente equidistanti subiscono un progressivo allontanamento procedendo dall'equatore verso i poli.

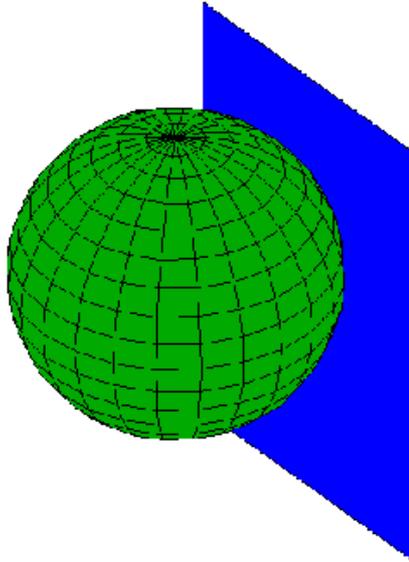
Per esempio, sul 60° parallelo la distanza reale fra un meridiano e l'altro è circa la metà di quella che si ha all'equatore. In proiezione cilindrica, essendo i meridiani equidistanti, questa distanza tra un meridiano e l'altro è rappresentata uguale a quella dell'equatore e quindi con un valore doppio, in scala, rispetto a quella reale. Analogamente, tale distorsione si produce anche sui paralleli, per cui la distanza fra il 60° e il 61° parallelo risulta raddoppiata.

Per i servizi cartografici online come **Google Maps**, **Bing Maps** e **OpenStreetMap** viene utilizzata una versione modificata della proiezione di Mercatore



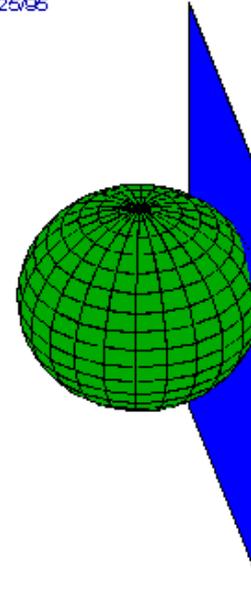
Proiezioni AZIMUTALI (PLANARI)

Peter H. Dana 9/20/94



Planar Projection Surface

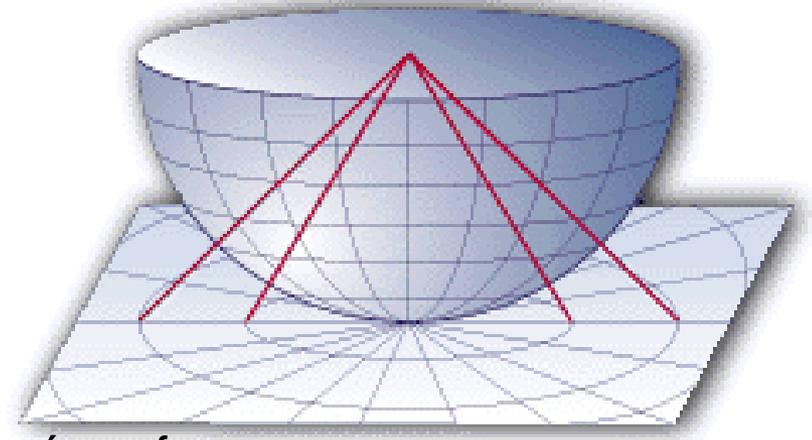
Peter H. Dana 4/25/95



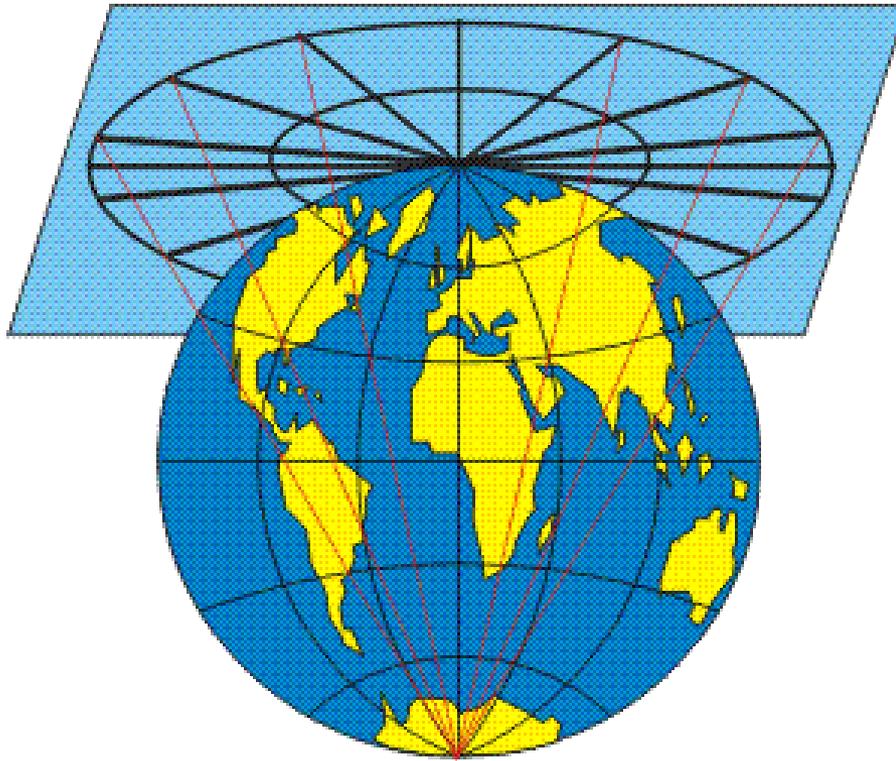
Secant Planar Projection

Piano tangente (secante) ad un globo. Se una ipotetica sorgente di luce proietta il reticolo sul piano, il risultato è quello di ottenere un reticolo planare, o azimutale

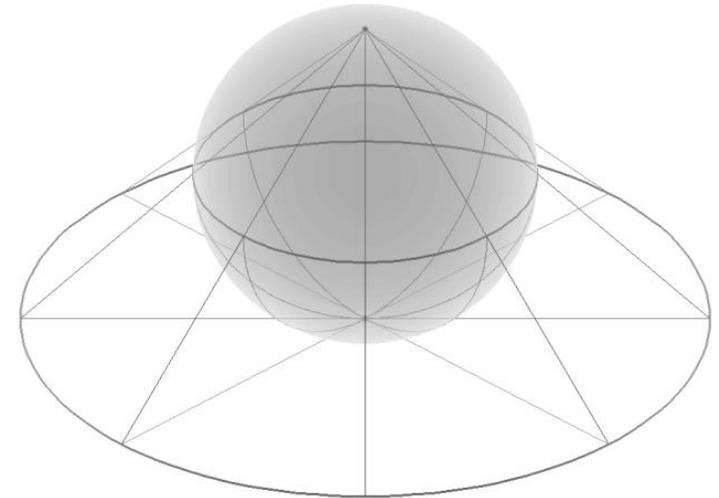
Se la sorgente di luce immaginaria si trova all'interno del globo, la proiezione è detta GNOMONICA.



- La proiezione gnomonica non è né equalarea né conforme
- è una proiezione prospettica in cui la sorgente di luce si trova al centro del globo tangente al piano
- È utilizzata per la navigazione aerea e marina, in quanto il reticolo dei cerchi massimi viene rappresentato come un gruppo di linee rette
- Può essere rappresentato meno di un emisfero
- La scala è reale solo dove si incrociano il parallelo centrale e il meridiano principale
- Tutti i cerchi massimi sono delle rette



Se la sorgente di luce si trova all'opposto del punto di tangenza del piano si ottiene una proiezione STEREOGRAFICA.



-È conforme

-La scala è reale solo dove il parallelo centrale e il meridiano principale si incrociano o lungo un cerchio concentrico intorno al centro di proiezione

-Tutti i cerchi massimi sono archi di cerchio o linee rette

-Utilizzata per carte topografiche di regioni polari

-Raccomandato per la rappresentazione di regioni ad aspetto circolare.

Se la sorgente di luce immaginaria si trova all'infinito rispetto al punto di tangenza, la proiezione è ORTOGRAFICA.

Non conformi né equalarea

Si tratta di una proiezione prospettica
La sorgente di luce si trova a infinita distanza dal punto di tangenza del piano.

La scala è reale solo al centro e lungo ogni cerchio centrato sul centro di proiezione.

Tutti i cerchi massimi sono archi di ellisse o linee rette

Viene frequentemente utilizzata per visioni della Terra come se fosse vista dallo spazio



Orthographic Projection
(Adapted from Snyder 1987)

Coordinate geografiche

Ogni punto della superficie terrestre può essere univocamente individuato da una coppia di coordinate:

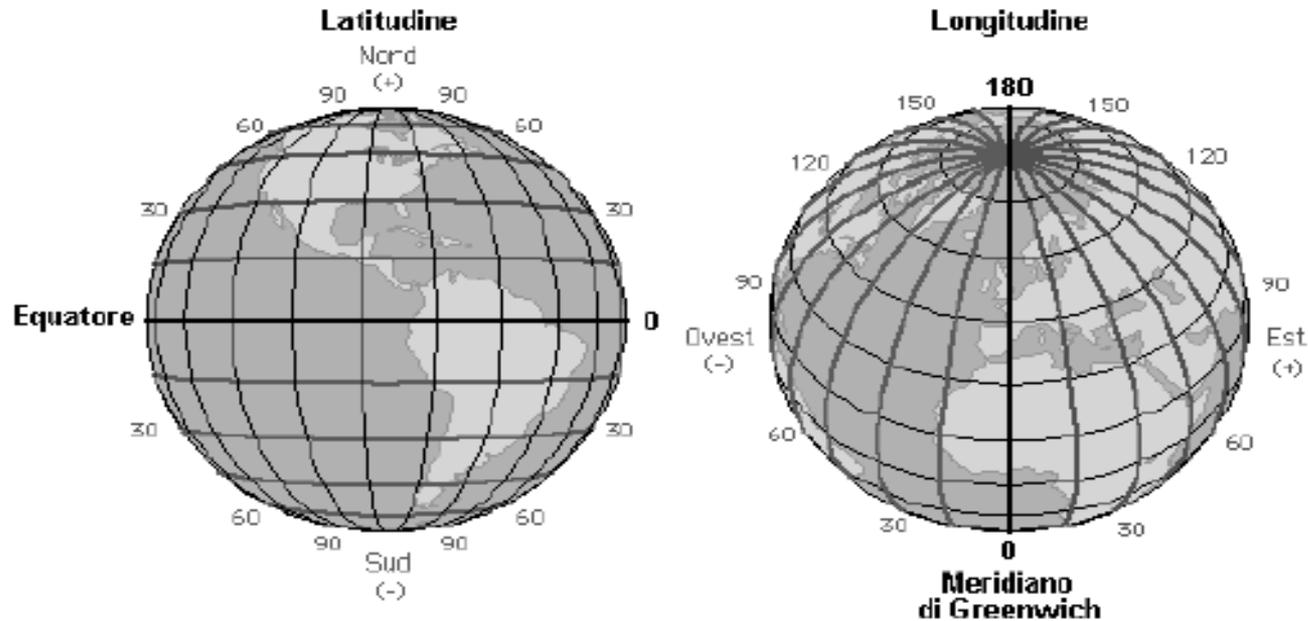
- **latitudine**, che definisce la distanza angolare di un punto dall'equatore
- **longitudine**, che definisce la distanza angolare di un punto dal primo meridiano. Per convenzione, tale meridiano è quello che passa per l'osservatorio inglese di Greenwich.

I paralleli e i meridiani rappresentano le linee che uniscono tutti i punti della superficie terrestre situati rispettivamente alla stessa latitudine o longitudine.

I paralleli sono circonferenze di raggio variabile poste orizzontalmente sulla superficie terrestre; i meridiani, invece, sono una serie di circonferenze uguali che si intersecano in corrispondenza dei poli.

Questo tipo di rappresentazione risulta essere pratico se si lavora su vaste aree.

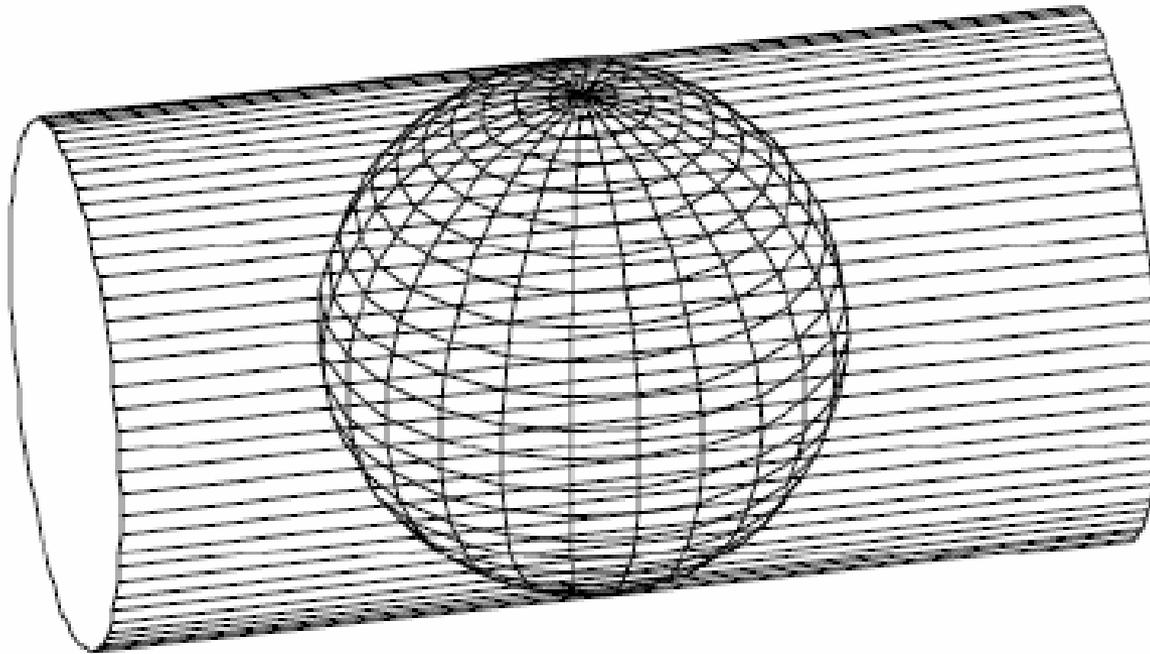
Latitudine e longitudine



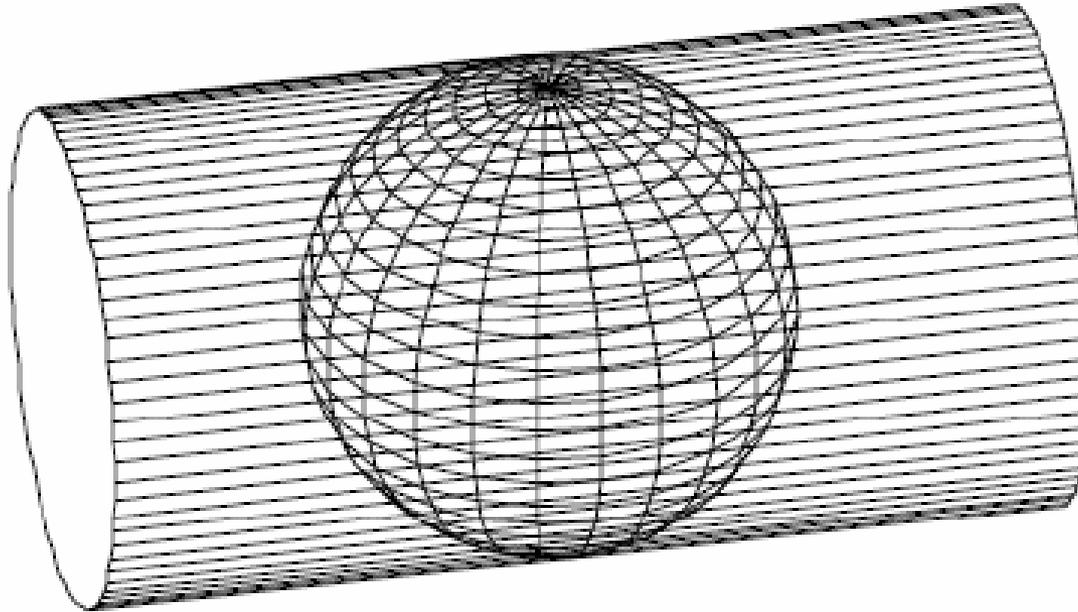
Se si lavora nel campo topografico risulta, invece, poco pratico in quanto si gestirebbero le distanze e le aree in termini di gradi, primi e secondi.

A tal fine è più utile un sistema basato su un sistema di coordinate "cartesiano": il sistema internazionale UTM (*Universal Transverse Mercator projection*).

La rappresentazione di Gauss è stata scelta per la cartografia ufficiale italiana. Si può immaginare come derivata dalla proiezione dei punti dal centro dell'ellissoide di riferimento su un cilindro tangente ad un meridiano, detto *meridiano centrale*.

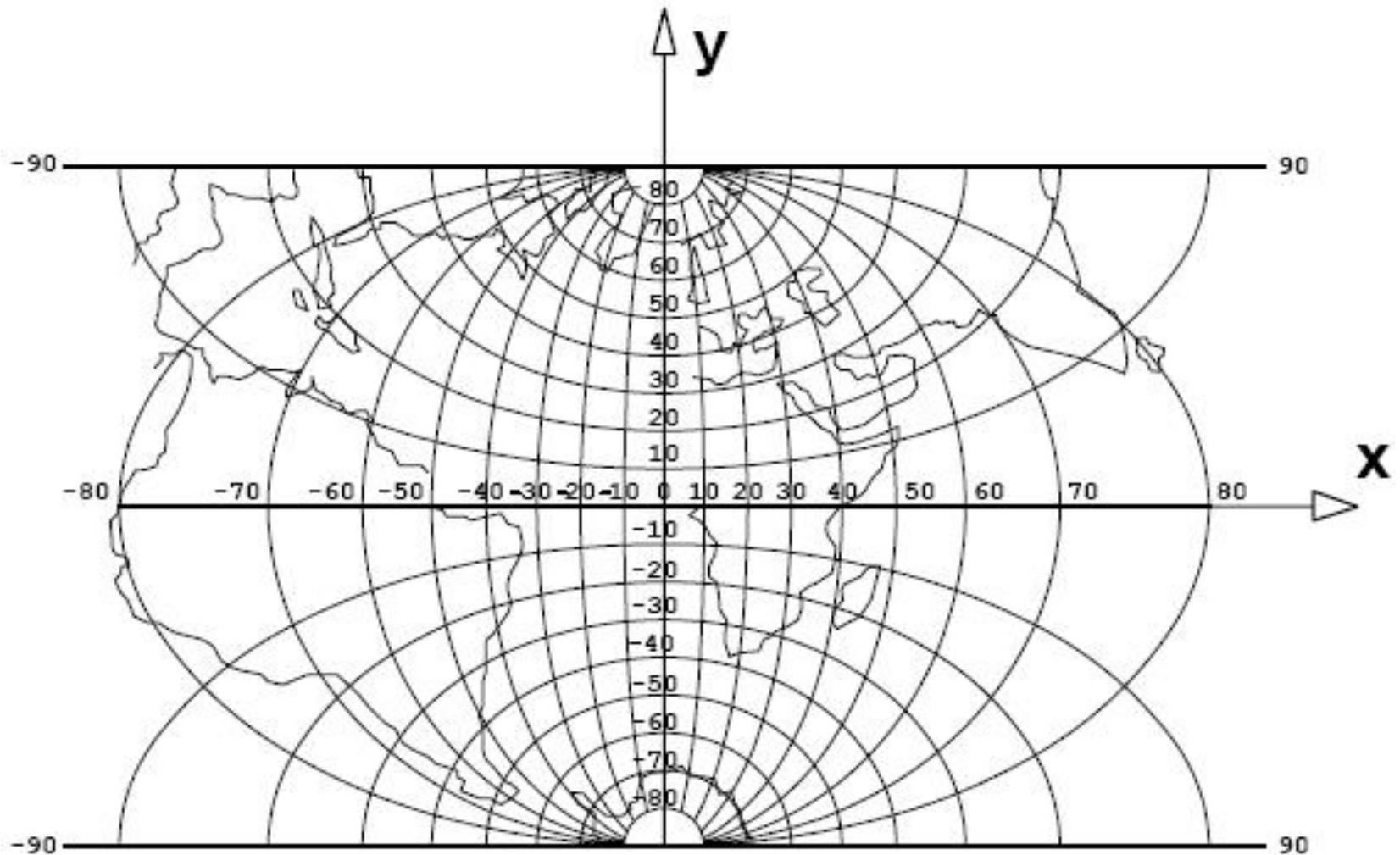


cilindro tangente a un meridiano



In realtà **la rappresentazione si ottiene unicamente con un procedimento matematico** (le funzioni f e g) e non attraverso un procedimento geometrico e proiettivo, anche se, per la propria similitudine con la proiezione cilindrica, la rappresentazione di Gauss viene definita cilindrica modificata o pseudocilindrica.

La cartografia di Gauss è **conforme**, e pertanto **gli angoli misurati sulla carta corrispondono perfettamente con i corrispondenti angoli misurati sul terreno**; le lunghezze misurate sulla carta sono invece deformate rispetto a quelle misurate sulla superficie di riferimento.



Si può facilmente constatare dalla figura come il meridiano centrale venga rappresentato senza subire alcuna deformazione, e come invece la deformazione cresca rapidamente allontanandosi dal centro.

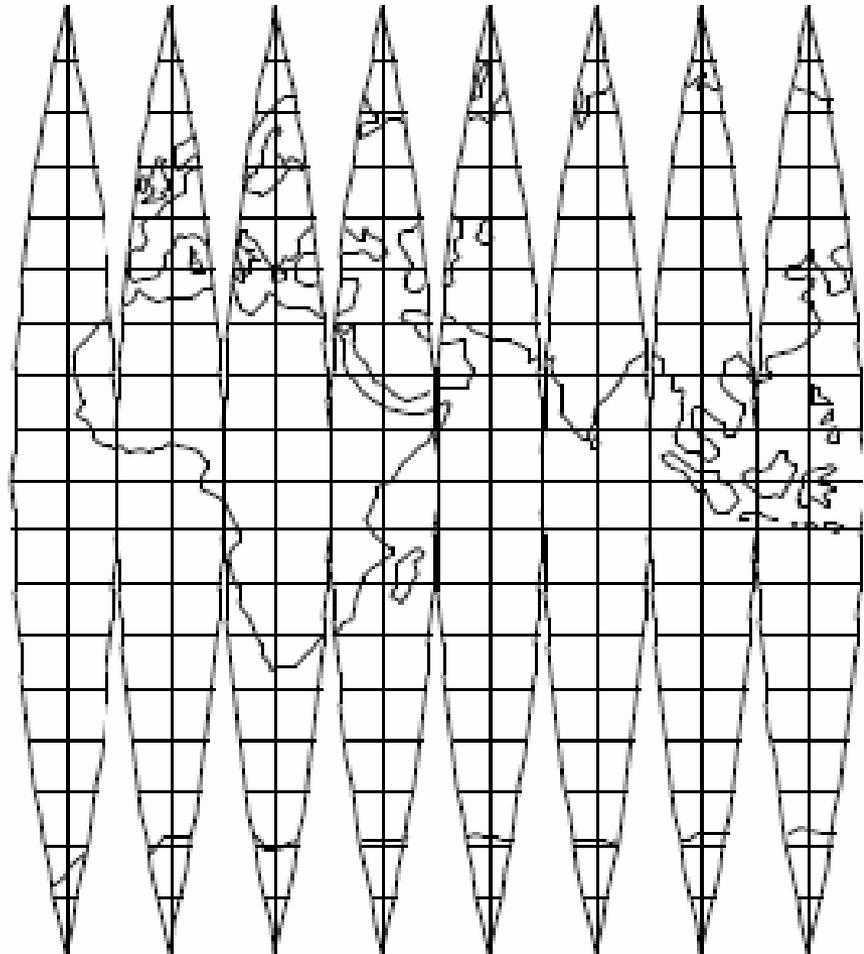
U.T.M. : Universal Transverse Mercator Projection

Proiezione Universale Trasversa di Mercatore

Per mantenere entro livelli minimi la distorsione ad est e ovest la Terra è stata suddivisa in 60 spicchi (fusi) numerati da 1 a 60, ciascuno proiettato indipendentemente.

La proiezione è quindi policentrica, infatti per evitare eccessive distorsioni si divide la superficie terrestre in 60 fusi di 6° ciascuno.

Coordinate UTM



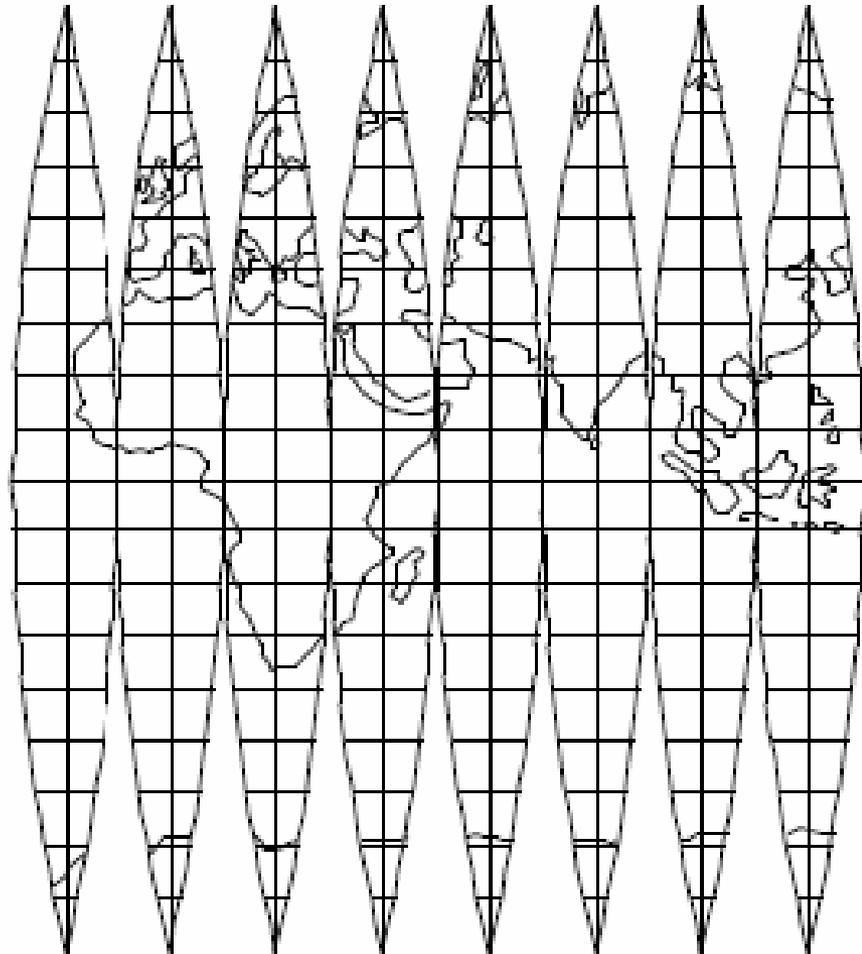
**U.T.M. : Universal
Trasverse Mercator
Projection
Proiezione Universale
Trasversa di Mercatore**

La proiezione U.T.M. divide quindi il mondo in 60 **fusi** verticali ampi 6° di longitudine.

Ogni proiezione ha il suo centro nel meridiano centrale della zona considerata.

Il territorio italiano è rappresentato nei fusi 32, 33 e 34 (solo la penisola salentina in quest'ultimo).

Coordinate UTM



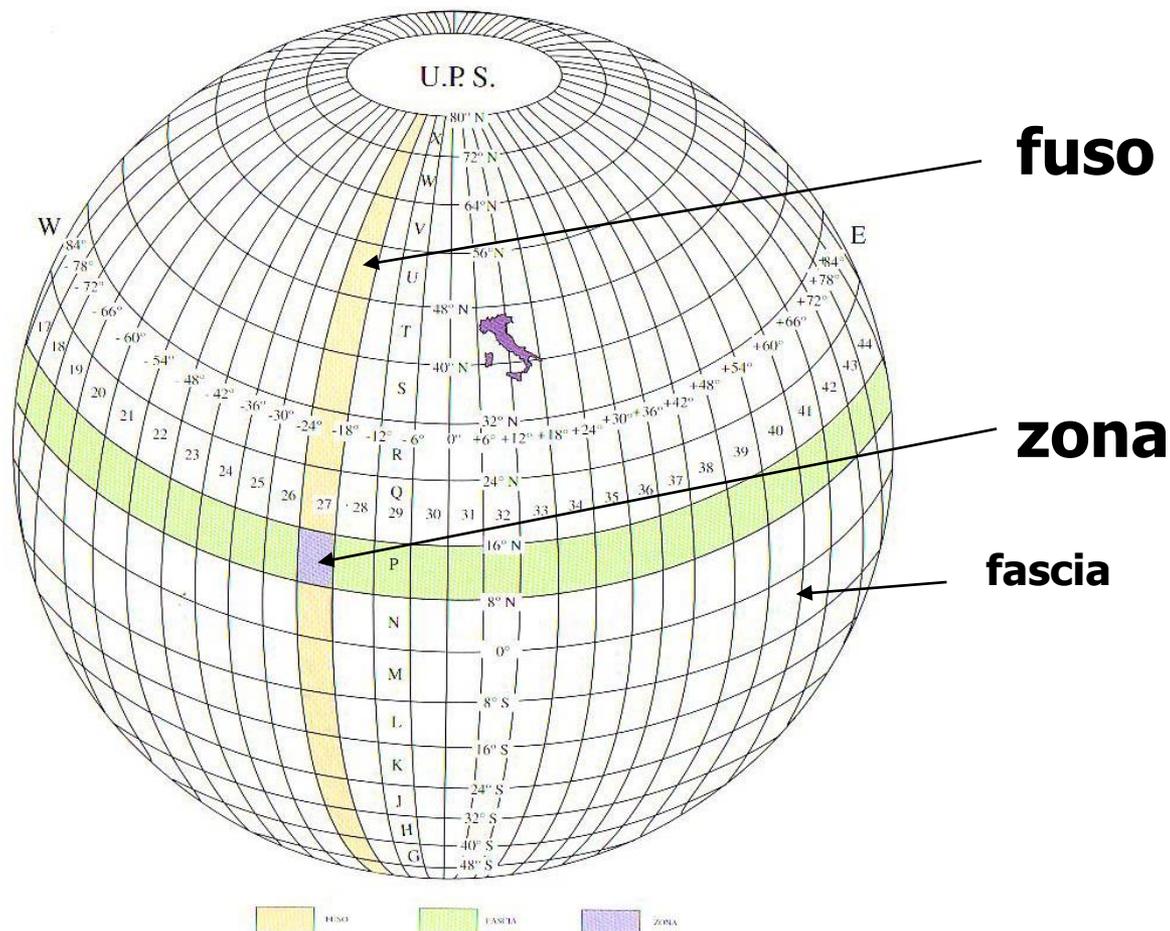
Inoltre, da 80° Latitudine Sud a 80° Latitudine Nord il globo è suddiviso in **fasce** latitudinali ampie 8° di latitudine e designate da lettere. Il territorio italiano copre le fasce S e T.

L'intersezione di un fuso con una fascia determina una **zona**.

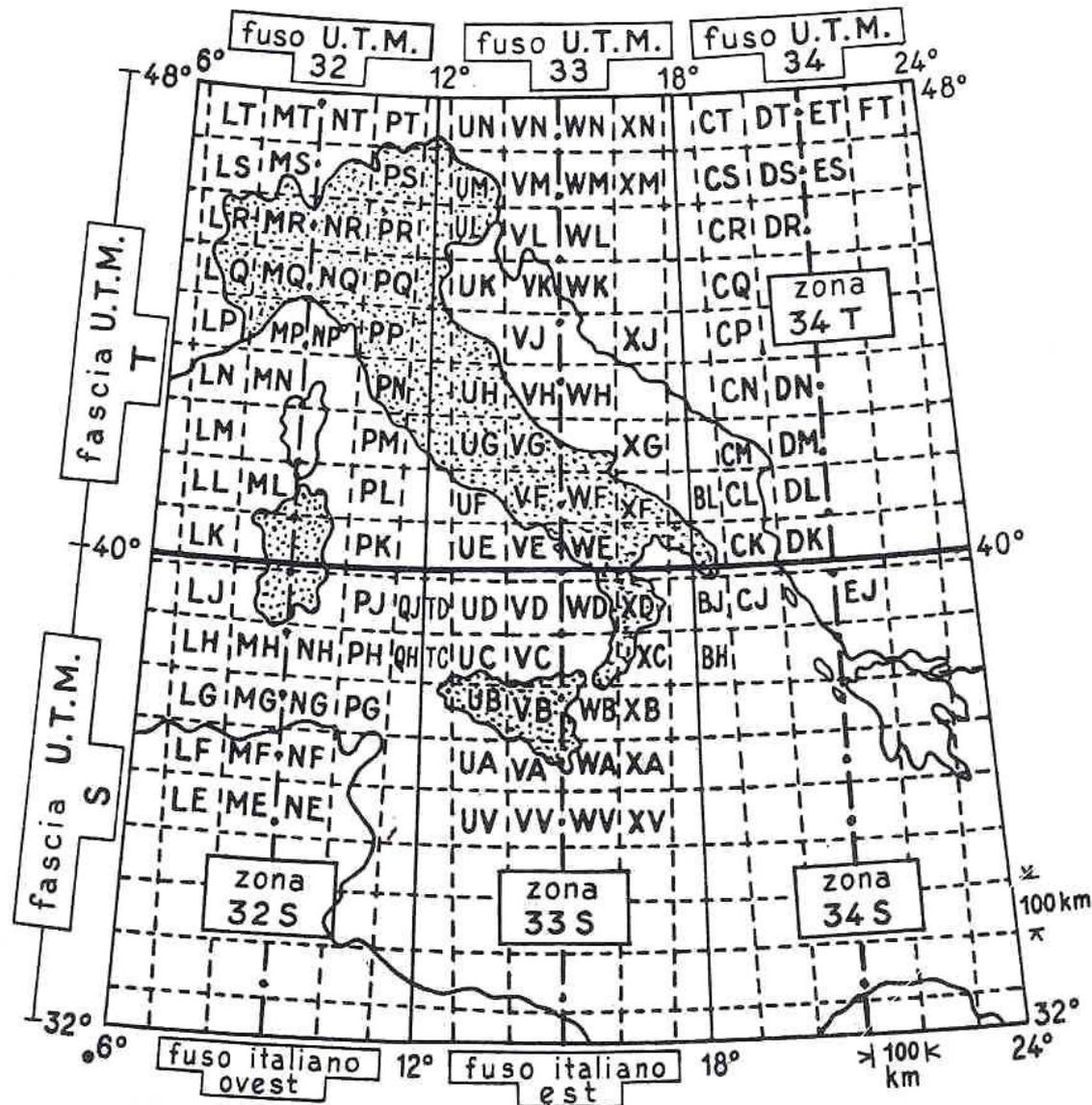
La zona è quindi un quadrilatero di 6° di longitudine e 8° di latitudine, indicata dalle cifre del fuso e dalle lettere della fascia.

L'intersezione di un fuso con una fascia determina una **zona**.

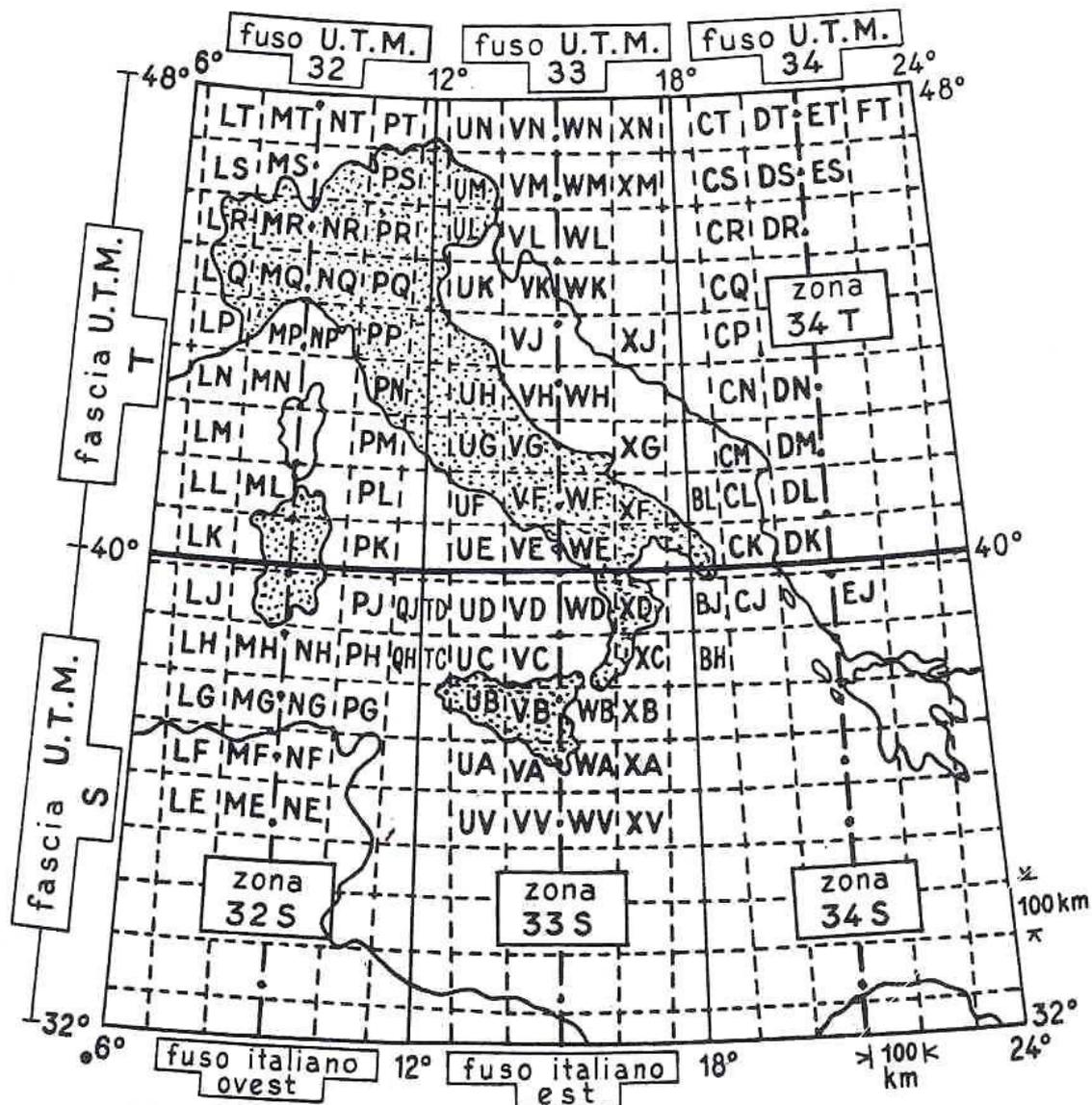
La zona è quindi un quadrilatero di 6° di longitudine e 8° di latitudine, indicata dalle cifre del fuso e dalle lettere della fascia.



L'Italia è quindi compresa nelle **6 zone 32T, 33T, 34T e 32S, 33S, 34S.**



Sulle ZONE viene sovrainposto un reticolo centi-chilometrico (quadrati di 100 km di lato) caratterizzato da una doppia lettera.



Con le **equazioni della rappresentazione** si ottengono le coordinate

X : con origine sul meridiano centrale

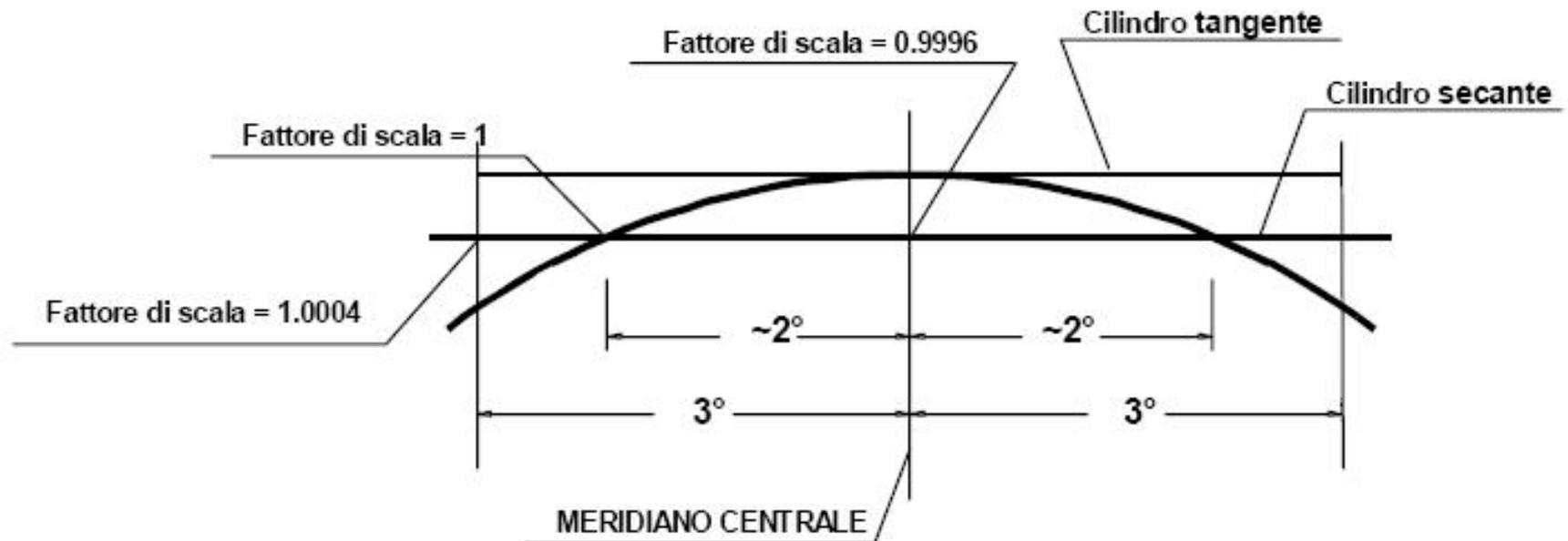
Y : con origine all'equatore

Allo scopo di eliminare l'uso dei numeri negativi per le ascisse dei numeri posti ad Ovest dei rispettivi meridiani centrali, si è ricorso allo spostamento fittizio dell'origine delle ascisse istituendo una **falsa origine** e attribuendo ai punti sul meridiano centrale di ogni fuso un valore convenzionale di x, pari a 500 km per le nostre zone.

Si vengono quindi a determinare le coordinate E (Est) e N (Nord), definite da:

$$N = y$$
$$E = x + 500.000 \text{ m}$$

Nell'ambito di un fuso la **deformazione lineare** raggiunge il valore massimo sui meridiani marginali del fuso: **il modulo di deformazione lineare**, definito come rapporto tra un elemento lineare infinitesimo sulla carta ed il corrispondente elemento misurato sull'ellissoide, raggiunge il valore di 1,0008.



Nella cartografia regionale tuttavia, per motivi di praticità, si adotta il sistema che applica la proiezione cilindrica inversa di Gauss, adattata al territorio italiano dal topografo Boaga che fa ricadere il territorio nazionale in soli due fusi. Questo tipo di proiezione si chiama Gauss-Boaga

Sistema Gauss-Boaga

Utilizza, come il sistema U.T.M., la rappresentazione di Gauss.

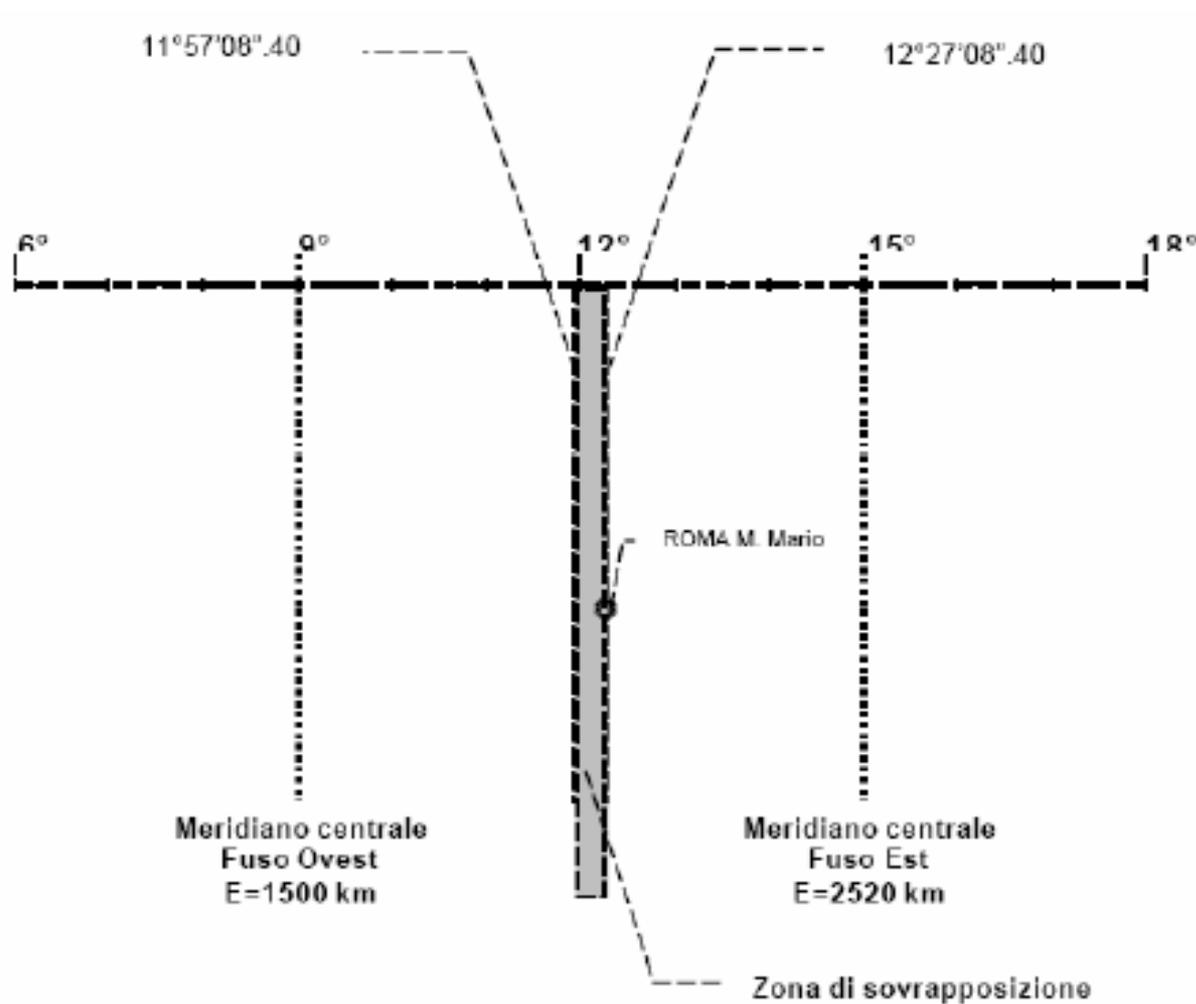
Prevede unicamente l'utilizzo di due fusi, denominati **fuso Ovest e fuso Est**, coincidenti rispettivamente con i fusi 32 e 33 del sistema U.T.M.

Tali fusi hanno come meridiani centrali, rispettivamente, i meridiani posti a 9° e a 15° ad Est di Greenwich (Meridiano fondamentale).

Il vertice di Roma Monte Mario (sistema Roma40) è stato assunto come punto di emanazione per il calcolo delle coordinate geografiche di tutti i vertici della rete geodetica nazionale.

fuso Ovest (fuso 1)
 $6^\circ < l < 12^\circ 27' 8''.4$

fuso Est (fuso 2)
 $11^\circ 57' 8''.4 < l < 18^\circ 30'$



La zona compresa tra le longitudini $-0^\circ 30'$ e 0° da Monte Mario ($11^\circ 57' 8''.4$ e $12^\circ 27' 8''.4$ da Greenwich) è una *zona di sovrapposizione* tra i due fusi ed in essa le coordinate dei punti vengono determinate in entrambi i fusi.

Sistema GAUSS-BOAGA: **doppia falsa origine** (una per ciascun fuso):

-meridiano centrale fuso Ovest $x = 1500$ km

-meridiano centrale fuso Est $x = 2520$ km (20 km per includere la penisola salentina)

Si vengono quindi a determinare le coordinate E e N, definite da:

$N = y$ per entrambi i fusi

$E = x + 1500$ per il fuso Ovest

$E = x + 2520$ per il fuso Est

In tal modo la prima cifra della coordinata Est corrisponde sempre al numero del fuso:

1 per il fuso Ovest

2 per il fuso Est

Tale sistema venne denominato *Gauss-Boaga*.



Coordinate piane (chilometriche) nella Cartografia Italiana

La cartografia italiana riporta normalmente gli elementi necessari per determinare le coordinate piane di un punto nei due sistemi di riferimento:

- ED 50 – Sistema europeo definito anche UTM;
- ROMA 40 – Sistema nazionale italiano definito di Gauss-Boaga;

ED50 e Roma40 hanno in comune:

- Elissoide di riferimento (Elissoide internazionale di Hayford);
- Proiezione: Gauss;
- Assi cartesiani: equatore e stessi meridiani;

Differiscono invece in:

Punto di emanazione del sistema, che sono i seguenti:

Roma Monte Mario per Roma 40 , Potsdam per ED 50

Il punto di emanazione diverso provoca degli sfasamenti irregolari tra i due sistemi:

5", 5-6", 5 in latitudine, 2", 2-2", 9 in longitudine, distribuiti in modo non omogeneo sul territorio nazionale

b) Meridiano fondamentale (0° di longitudine):

1. Roma Monte Mario per Roma 40
2. Greenwich per Ed50

c) False origini

+1500 Km per il fuso Ovest (Roma 40)

+2520 Km per il fuso Est (Roma 40)

+500 Km per i fusi 32 e 33 (ED 50)

Si tratta di valori attribuiti al meridiano centrale del fuso in modo da ottenere coordinate sempre positive anche ad Ovest del meridiano.

Nel sistema Gauss-Boaga non è necessario specificare il fuso, in quanto:

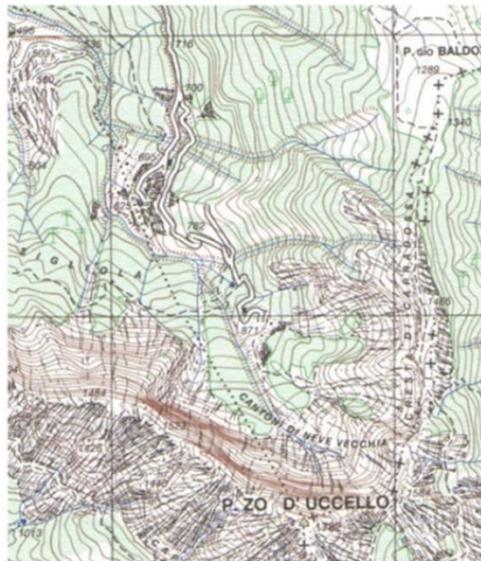
- se il valore di E inizia con 1, si tratta del fuso Ovest;
- se inizia con 2. Si tratta di fuso Est;

Scale cartografiche

Il rapporto fra una determinata misura effettuata sulla carta e quella corrispondente nella realtà esprime di quanto la rappresentazione è ridotta rispetto al mondo reale.

La scala rappresenta il rapporto di una lunghezza misurata sulla carta e la corrispondente lunghezza misurata sul terreno.

La si può pertanto rappresentare sotto forma di frazione.



Topografica

Grande scala:
1:10.000-1:200.000



Corografica

Media scala:
1:200.000-1:1.000.000

Per poter rappresentare porzioni di territorio, diverse per estensione, le carte devono essere prodotte usando "scale" diverse.

Ciò significa che le scale più "piccole" saranno quelle al denominatore più grande e viceversa. Passando dalle scale più piccole a quelle più grandi le carte rappresenteranno porzioni di territorio sempre più limitate e con un insieme di particolari via via crescenti.



Topografica

Grande scala:
1:10.000-1:200.000



Corografica

Media scala:
1:200.000-1:1.000.000

Classificazione delle carte

Le carte geografiche, con scale minori di 1:1.000.000, rappresentano porzioni del globo anche molto estese come i continenti.

Le carte corografiche, con scale comprese tra 1:1.000.000 e 1:100.000, rappresentano con buona ricchezza di particolari aree abbastanza estese della superficie terrestre come regioni o intere nazioni.

Le carte topografiche, infine, hanno scale superiori a 1:100.000 e rappresentano con molta precisione zone relativamente limitate della superficie terrestre (rilievi, idrografia, centri abitati grandi e piccoli, orografia, ...); **consultandole si possono trarre utili informazioni territoriali, paesaggistiche ed ambientali.**

Esistono infine le Piante o Mappe, la cui scala è superiore a 1: 10.000

Le **carte topografiche a piccola scala** (1:100.000, 50.000, 1:25.000) offrono una visione di sintesi del territorio che rappresentano.

Le **carte a media scala** (1:10.000, 1:5.000) sono le **carte regionali**. Esse devono avere il grado di dettaglio che consenta di ricavare tutti gli elementi conoscitivi necessari per la pianificazione a livello regionale.

Le **carte a grande scala** (1:2.000, 1:1.000) descrivono il territorio con il grado di dettaglio necessario ad una sua pianificazione **a livello comunale**.

Le carte a **grandissima scala** (1:500, 1:200), stante il loro costo elevato, non vengono generalmente realizzate per l'intero territorio di un comune, ma per particolari zone, ad esempio per centri storici, e vengono utilizzate come base di strumenti molto specifici come piani di recupero.

Generalizzazione cartografica =

a) Sfoltimento logico

b) Sfoltimento geometrico

Concetto di generalizzazione:

le informazioni e la loro simbolizzazione sono selezionate e modificate in modo da adattarsi alla scala della carta.

Per facilitare la lettura delle carte a piccola scala, alcuni dettagli della rappresentazione, relativi per esempio a viabilità e a edificato, sono amplificati, oltre che semplificati ed eventualmente accorpati, alterando così per essi il rapporto di scala.

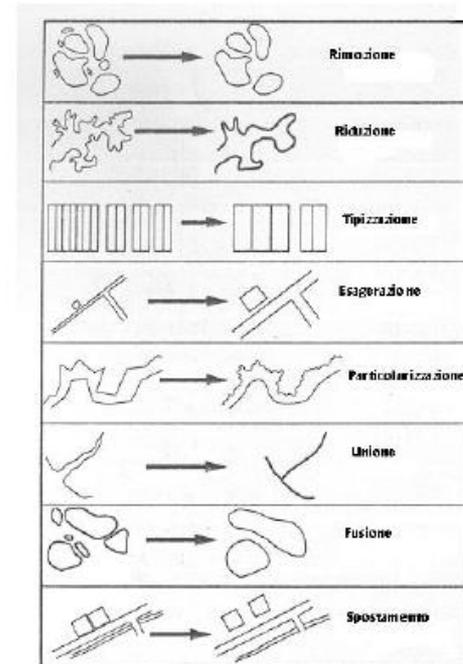
Sotto quest'aspetto, la scala 1/10.000 è la frontiera fra scale metriche, in cui il rapporto di scala è rispettato in quasi tutti i dettagli, e scale simboliche, in cui per necessità di rappresentazione esso può essere talvolta alterato.

CONCETTO DI GENERALIZZAZIONE

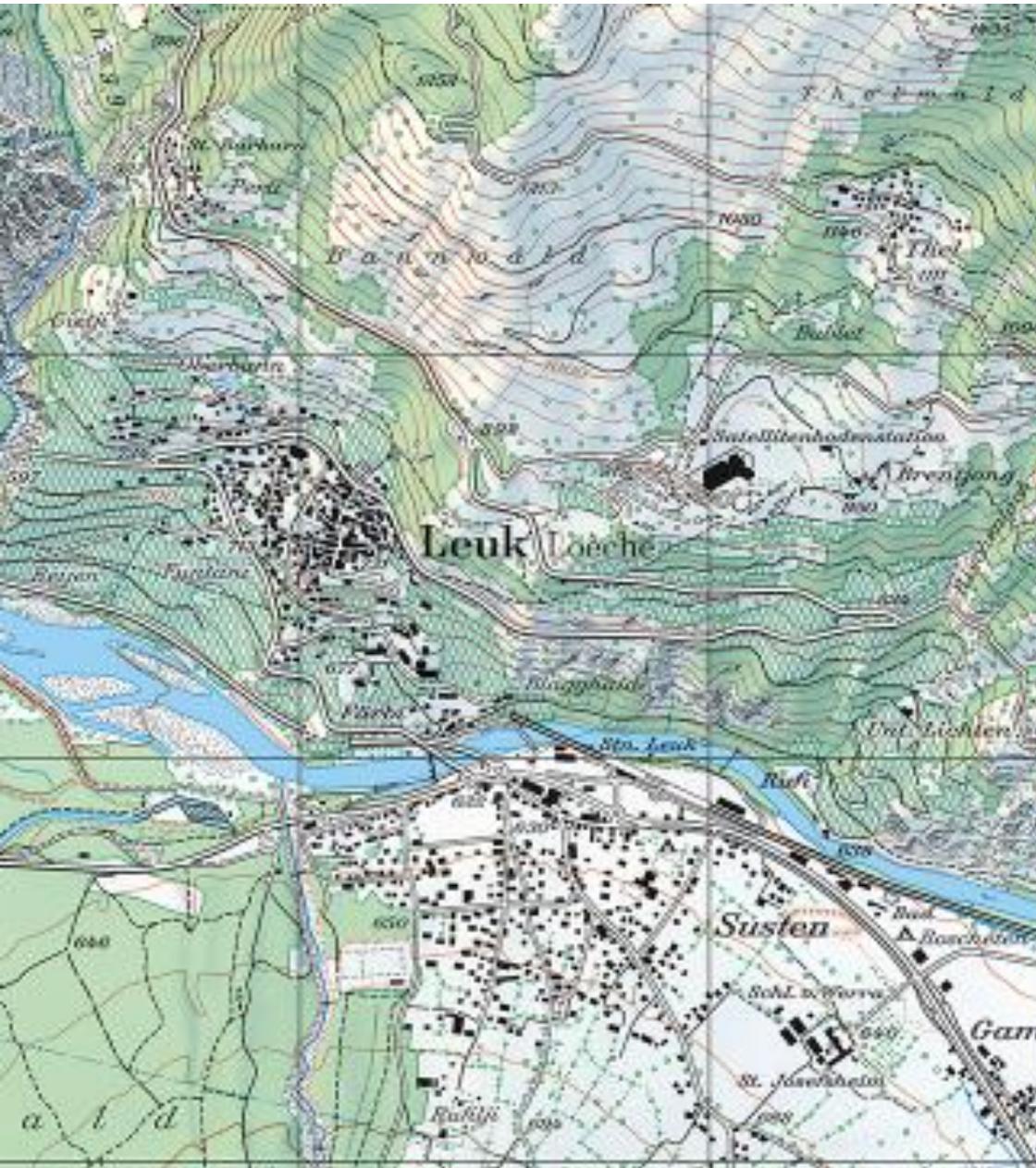
Le informazioni e la loro simbolizzazione sono selezionate e modificate in modo da adattarsi alla **scala** della carta.

La generalizzazione richiede di eseguire diversi tipi di operazioni.

Esempi:



È importante osservare che **la generalizzazione può avvenire solo in senso discendente**, non è possibile né corretto derivare cartografia da documenti a scala minore, anche per l'impossibilità di ripercorrere a ritroso la sequenza di semplificazioni che gli oggetti del territorio hanno subito in fase di costruzione della carta.



Accuratezza

Identifica al tempo stesso la precisione ed il dettaglio delle informazioni acquisite ed è correlata al rapporto di scala.

Questo valore è assunto come *risoluzione della carta* ovvero la dimensione minima che deve avere un oggetto o un suo dettaglio per poter essere rappresentato a una determinata scala.

Da ciò dipende la *tolleranza planimetrica* ovvero lo scostamento massimo, rapportato alla scala della carta, fra le posizioni planimetriche di un generico punto e la sua corretta posizione sul terreno; secondo le norme italiane è fissato a 0,4 mm grafici.

La comprensione del parametro **accuratezza** porta a rifiutare, in quanto errati, gli ingrandimenti delle carte, e a tollerare entro limiti contenuti le riduzioni. Gli ingrandimenti infatti avrebbero il risultato di aumentare la scala senza migliorarne l'accuratezza.