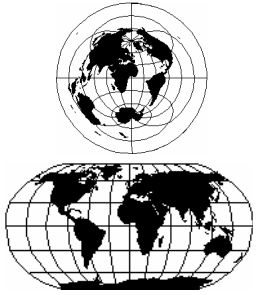


---

# Le proiezioni cartografiche

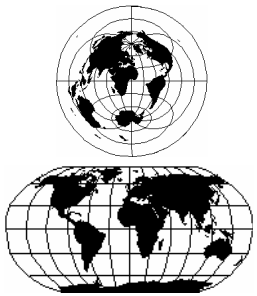
---

Introduzione ai  
Sistemi Informativi Territoriali

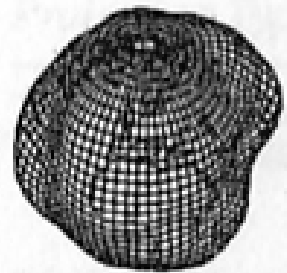


# Le proiezioni cartografiche

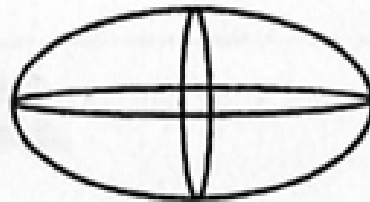
- Il problema che deve affrontare chi disegna le carte geografiche consiste nel trovare un accorgimento per rappresentare una superficie sferica (la Terra) su un foglio piano (la carta geografica).
- Il problema non si pone quando si vogliono rappresentare piccolissime porzioni di superficie terrestre (per esempio le carte catastali), ma diventa notevole quando le aree da rappresentare sono molto grandi.
- Si parla allora di **proiezioni cartografiche**, cioè di un insieme di regole che permettono di riportare sul piano della carta ogni punto della superficie terrestre rappresentata.



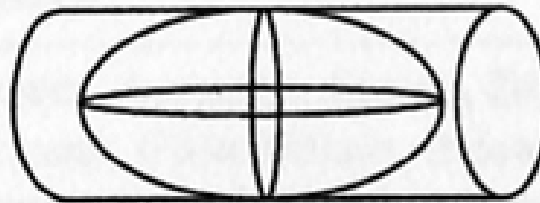
# Rappresentazione schematica



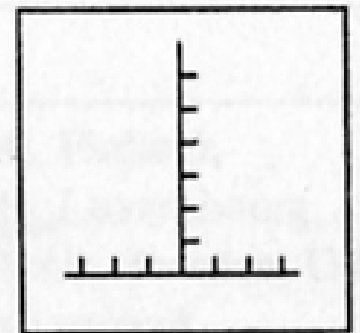
**Geoid**



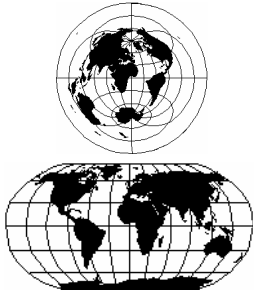
**Simplified representation:  
Ellipsoid**



**Projection on developable  
surface**

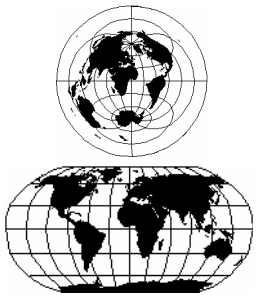


**Planar map with  
coordinate system**



# Sistemi di coordinate

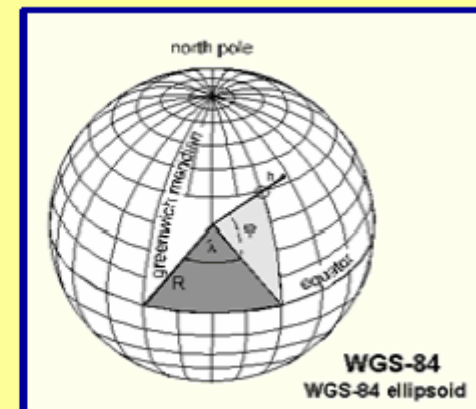
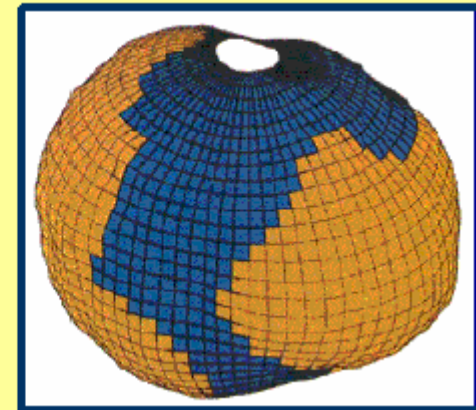
- La Terra è un corpo solido spesso rappresentato da una sfera.
- Il raggio polare e il raggio equatoriale sono differenti, anche se solamente per una quantità trascurabile pari allo 0.34% del raggio medio.
- Oggi i geografi gli assegnano una forma speciale simile ad una pera, detta *geoide*, cioè una sfera schiacciata ai poli e leggermente allungata al polo Nord.

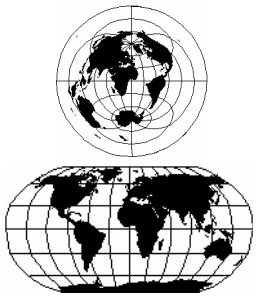


# Il geoide e l'ellissoide

Il **geoide** e l'**ellissoide** approssimano la forma della superficie terrestre.

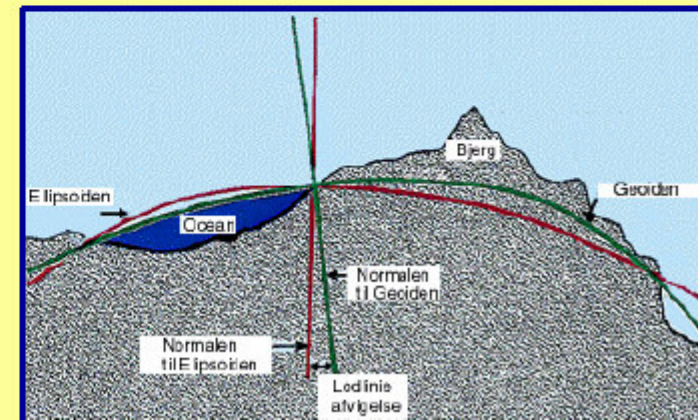
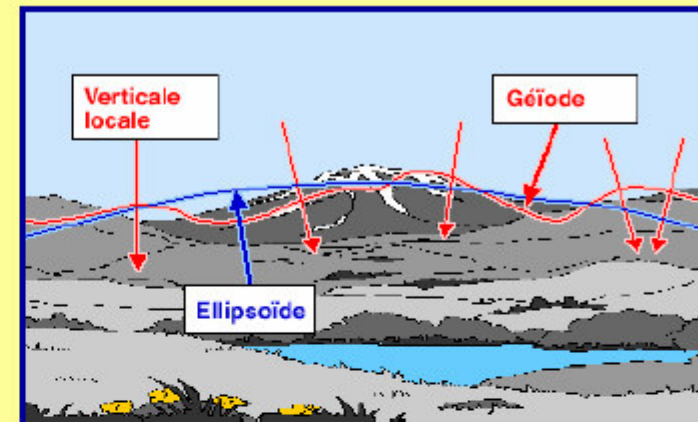
- Il **geoide** è costituito da un reticolo di superfici equipotenziali.
- L'**ellissoide** è una rappresentazione matematica che approssima la superficie terrestre.

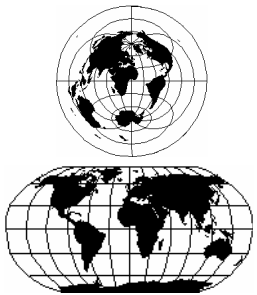




# Il Map Datum

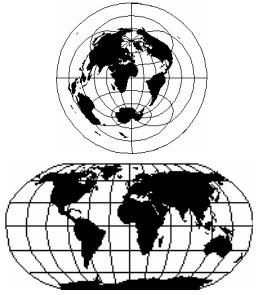
- Il geoide e l'ellissoide non coincidono.
- l'ellissoide può essere orientato in modo da minimizzare lo scostamento rispetto al geoide per una zona limitata.
- Si definisce, così, un **Map Datum** che avrà validità locale in una zona determinata.





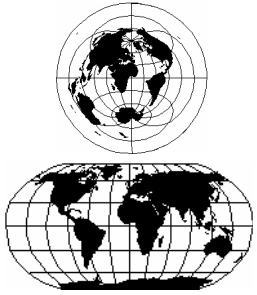
# Differenti ellissoidi

<i>Ellipsoid name</i>	<i>Region of use</i>
Airy 1858	Great Britain
Airy modified	Ireland
Australian National	Australia
Bessel 1841	Austria, Chile, Croatia, Czech Rep., Germany, Greece, Indonesia, Netherlands, Slovakia, Sweden, Switzerland
Bessel modified	Norway
Clarke 1880	Africa, France
Clarke 1866	North America, Philippines
Everest 1830	Afghanistan, Myanmar, India, Pakistan, Thailand, and other countries in southern Asia
GRS 1980	North America, worldwide
Hayford (International) 1909	Belgium, Finland, Italy, all countries using ED50 system
New International 1967	many other regions
Krassovsky 1938	Albania, Poland, Romania, Russia and neighboring countries
WGS 1984	North America, worldwide
WGS 1972	NASA satellite



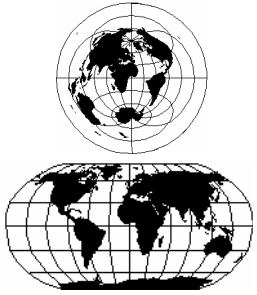
# Sistema di riferimento

- Per descrivere qualunque fenomeno che avvenga sulla superficie terrestre o in prossimità di essa si presenta la necessità di fissare un sistema di riferimento.
- Distinguiamo innanzitutto il sistema delle coordinate geografiche da quelli delle coordinate celesti.
- Il primo è solidale al sistema Terra e permette di trovare punti sulla superficie terrestre;
- i secondi individuano punti sulla sfera celeste (sfera concentrica alla Terra sulla cui superficie vediamo le stelle).



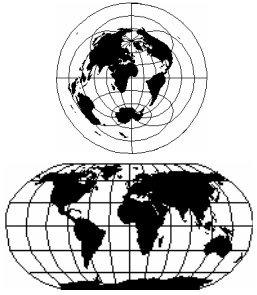
# Coordinate geografiche

- Per definire le coordinate geografiche viene utilizzato l'asse di rotazione terrestre.
- Vengono poi rappresentati sulla sfera terrestre i paralleli e i meridiani che comunemente conosciamo.
- Si trova la posizione di un qualsiasi punto calcolando la distanza in gradi del parallelo e del meridiano del punto considerato rispettivamente dall'equatore (verso Nord o verso Sud) e dal meridiano di Greenwich (verso Est o verso Ovest).
- Tali misure prendono nell'ordine il nome di latitudine e longitudine.



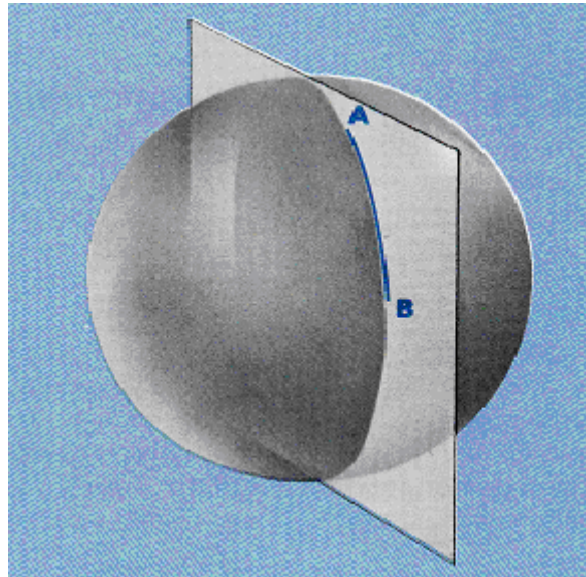
# Ortodromia e Lossodromia

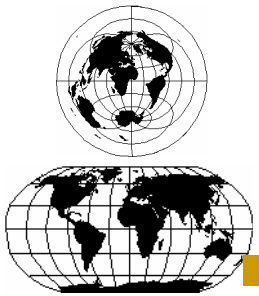
- In generale, la distanza minima tra due punti si misura considerando la linea retta che li congiunge, tale linea è nota come Lossodromia.
- Se di una superficie terrestre dobbiamo considerare l'arco di cerchio massimo che sottende tale linea retta, arco che prende il nome di Ortodromia.



## Ortodromia

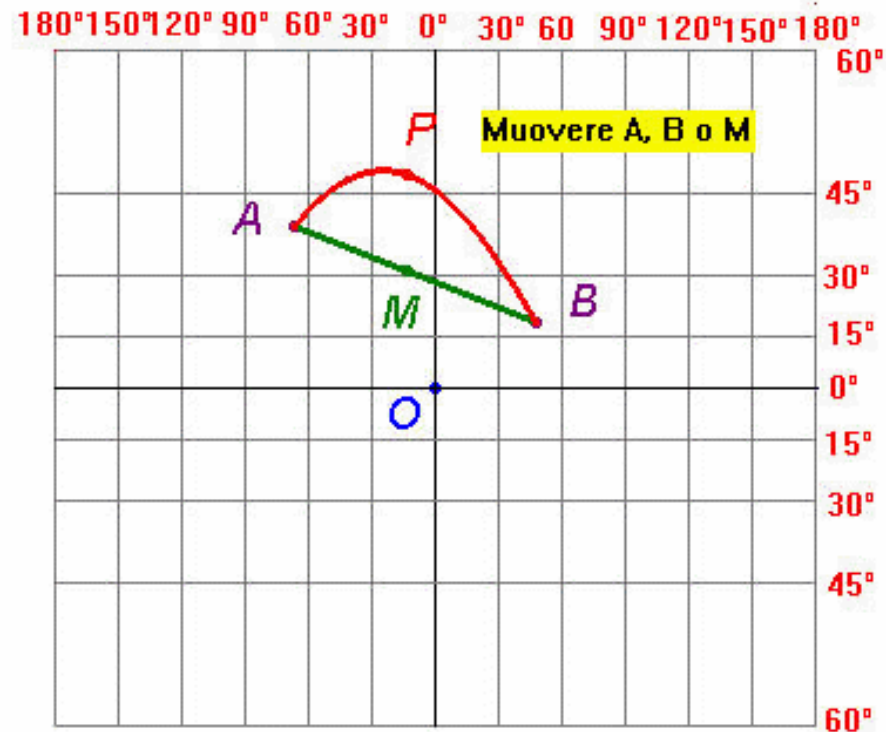
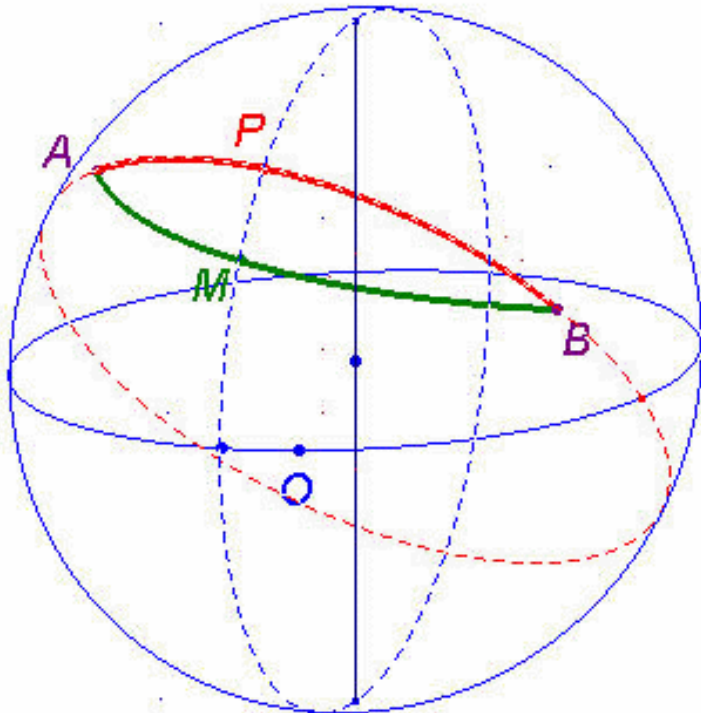
- Dati due punti sulla superficie terrestre l'*ortodromia* è l'arco sulla superficie che li congiunge formato dall'intersezione della superficie sferica con il piano di appartenenza dei due punti e del centro della Terra.





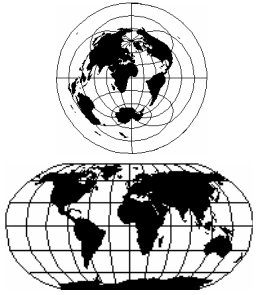
# Lossodromia

La lossodromia taglia tutti i meridiani con lo stesso angolo.



L'ortodromia è il cammino più corto da A a B : è un arco di cerchio massimo (in rosso).

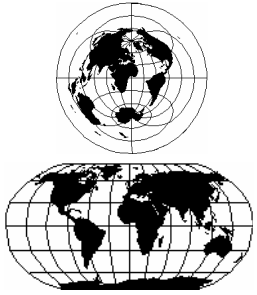
La lossodromia (in verde) è la traiettoria in linea retta sulla carta di Mercatore: forma un angolo costante con i meridiani.



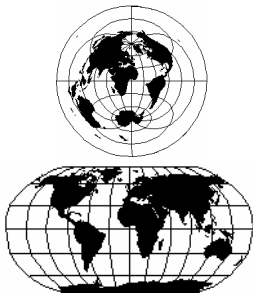
# Problema

- Non è possibile **spianare** una superficie sferica o, più in generale curva, senza deformarla, cioè senza apportare compressioni ed espansioni ad alcune, se non a tutte le sue parti.
- La proiezione di Mercatore, per esempio, fa aumentare le aree procedendo dall'equatore verso i poli.

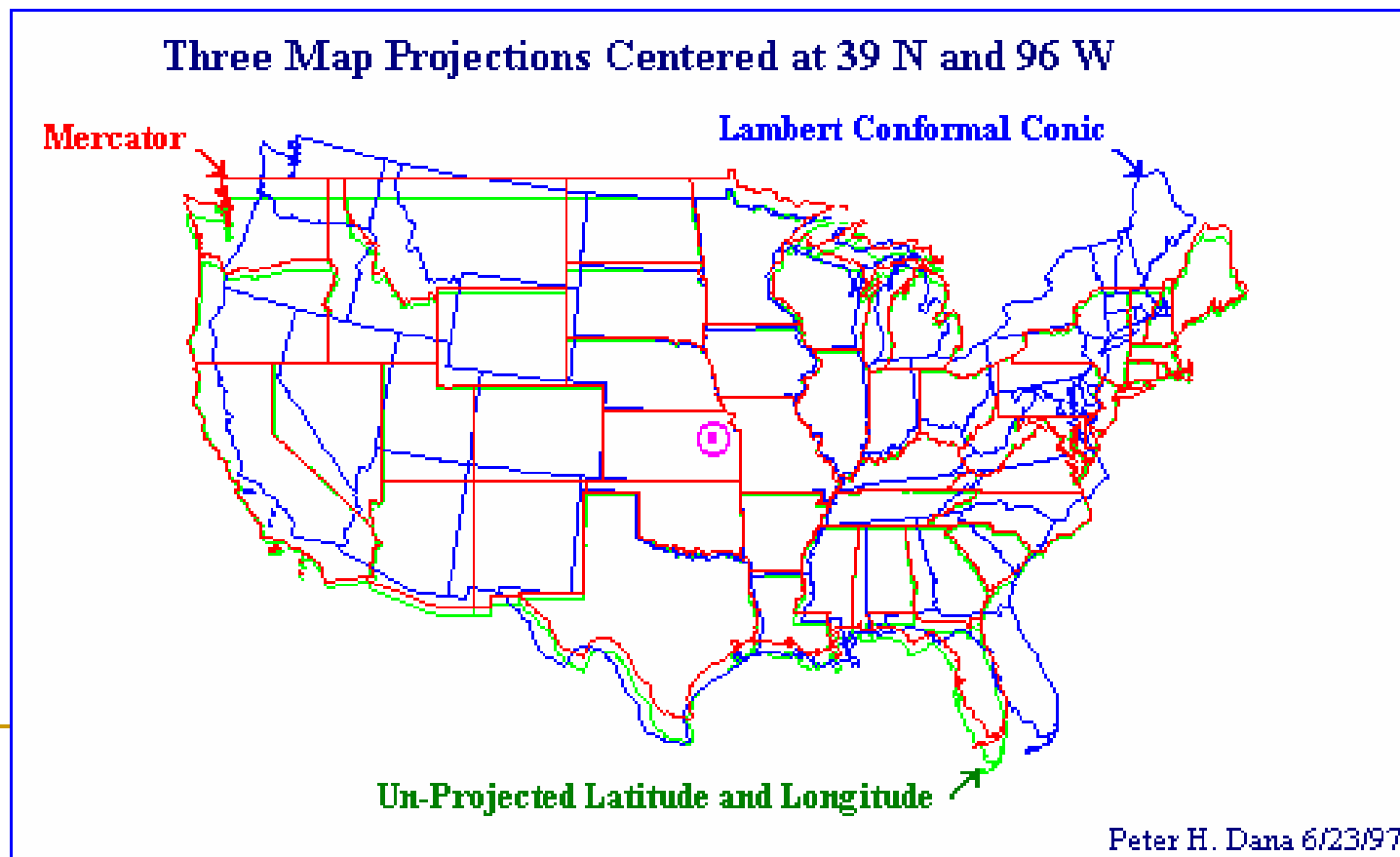


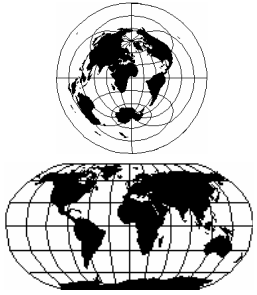


- Proiezioni diverse, nella stessa scala e rappresentanti la stessa area, vengono così a non essere sovrapponibili e questo tanto più ci si allontana dal centro di proiezione.
- Se si sovrappongono tre proiezioni degli Stati Uniti, aventi lo stesso centro, è possibile notare che lontano da esso, le differenze sono notevoli.

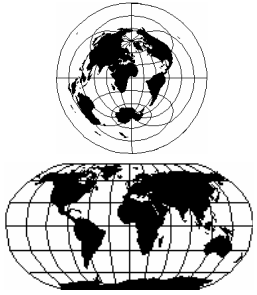


- Ad esempio si hanno tre rappresentazioni ben separate della penisola della Florida.



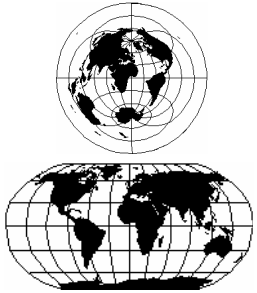


- Ogni qualvolta la superficie sferica è trasformata in un piano tutte le relazioni geometriche sulla sfera, come il parallelismo dei paralleli, la convergenza dei meridiani e la perpendicolarità dell'intersezione di paralleli e meridiani, non possono essere completamente rispettate.
- In aggiunta alle inevitabili variazioni nella scala di rappresentazione, le alterazioni più notevoli hanno a che fare con angoli, aree, distanze, e direzioni.



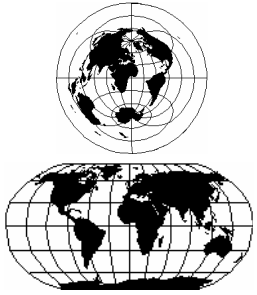
# Classificazione delle proiezioni

- Equidistanti: mantengono inalterate le distanze;
- Equivalenti: mantengono inalterate le aree;
- Conformi: mantengono inalterati gli angoli.

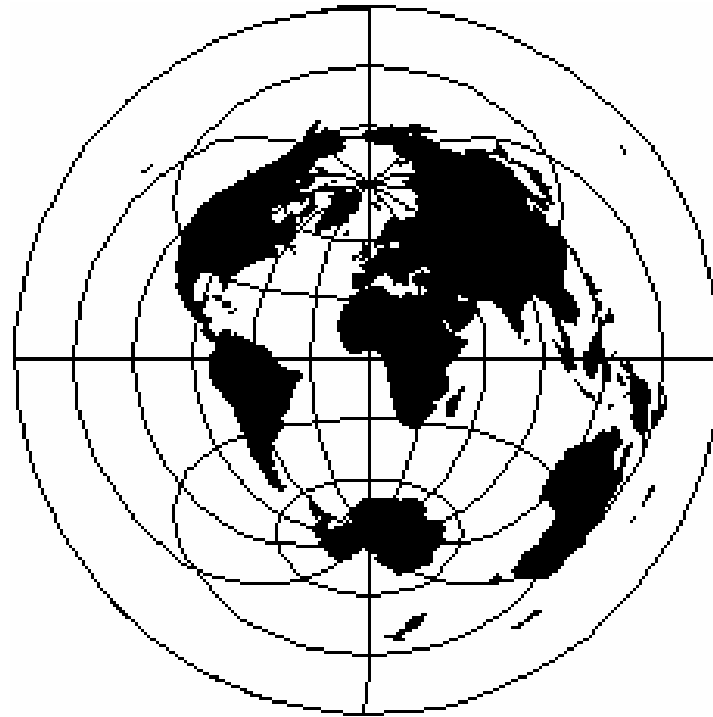


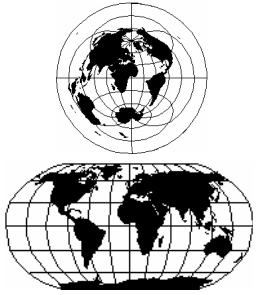
# Proiezioni equidistanti

- Il cartografo può voler conservare in scala tutte le distanze che intercorrono tra i luoghi della regione rappresentata
- In questo caso la proiezione si chiama **equidistante**: il rapporto tra due distanze sulla carta è uguale al rapporto tra le corrispondenti distanze nella realtà.
- Generalmente solo le carte topografiche, con rapporto di scala 1:25.000 o inferiore, sono equidistanti; nelle proiezioni a scala maggiore l'equidistanza si mantiene solo lungo una determinata direzione.



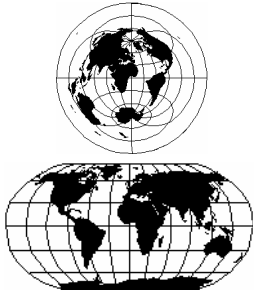
- Un esempio di proiezione equidistante è la **proiezione azimutale equidistante**





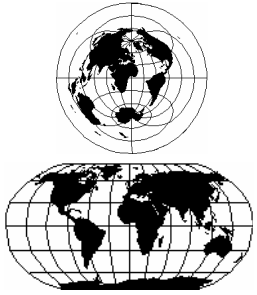
# Proiezioni equivalenti

- nelle proiezioni **equivalenti**, si conservano le aree
- due superfici sulla carta stanno nello stesso rapporto che intercorre tra le corrispondenti superfici nella realtà.



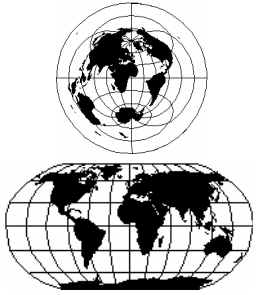
# Osservazione

- Nessuna proiezione può essere sia conforme (mantenimento degli angoli) che equivalente (mantenimento delle aree) in quanto è evidente che i requisiti di scala per la conformità e per l'equivalenza sono contraddittori.



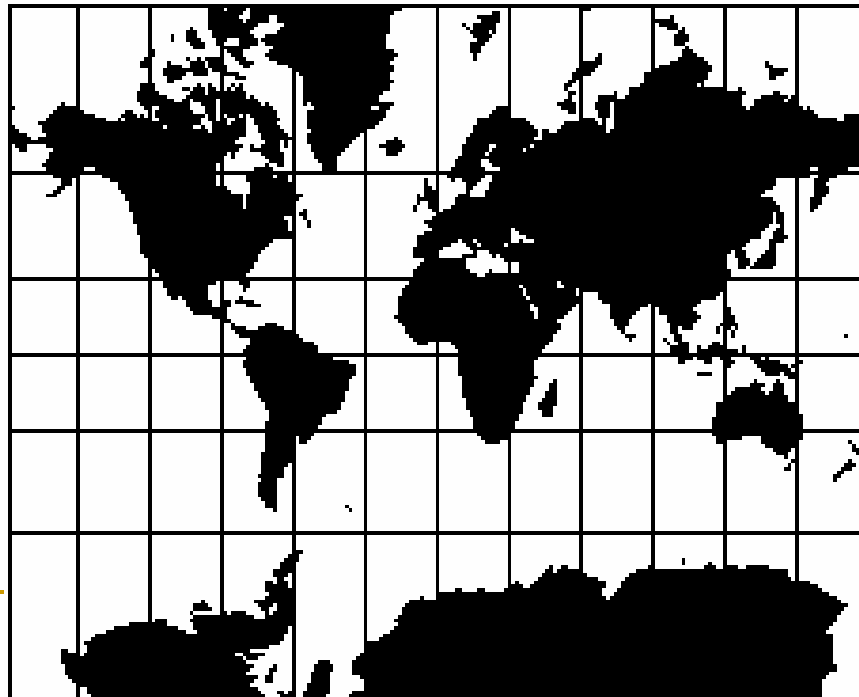
# Proiezioni **isogone** o **conformi**

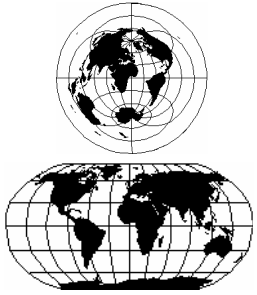
- Nelle proiezioni **isogone** o **conformi** si conservano gli angoli tra due direzioni qualsiasi
- In altre parole, questo tipo di proiezione mantiene inalterate le forme degli oggetti rappresentati.



# La proiezione di Mercatore

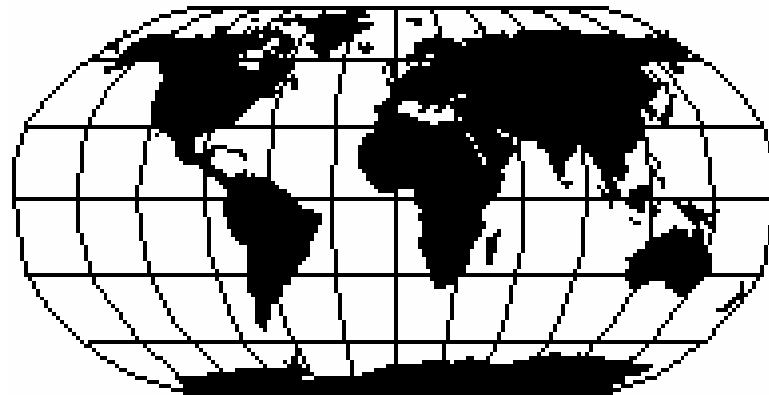
- La **proiezione di Mercatore** è una proiezione conforme: forme e direzioni sono corrette, ma non certo le aree. Si noti che in questa proiezione paralleli e meridiani si incontrano formando angoli retti, come nella realtà.

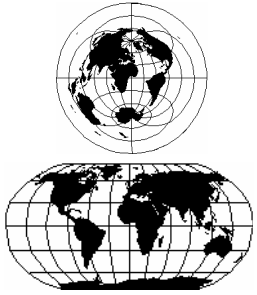




# Proiezione di Robinson

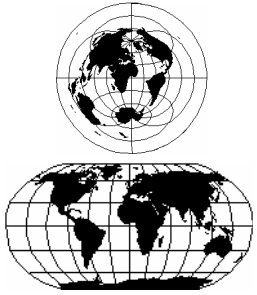
- Quando si ha la necessità di rappresentare grandi aree o addirittura l'intero globo vengono utilizzate delle proiezioni modificate, in modo da minimizzare le distorsioni e conservare il più possibile tutte le proprietà. Una di queste è la **proiezione di Robinson**.





# Classificazioni

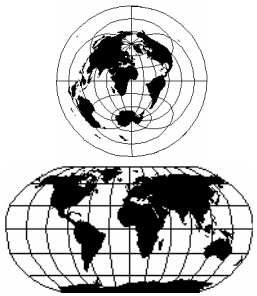
- Al variare dei principi usati per la loro realizzazione, le proiezioni si dividono in *vere e convenzionali*.
- Le *vere* si basano su principi geometrici e matematici.
- Le *convenzionali*, seppure derivate dalle vere, utilizzano espedienti che minimizzino le deformazioni o permettano di giungere a risultati prefissati.



## Proiezione prospettiche o azimutali

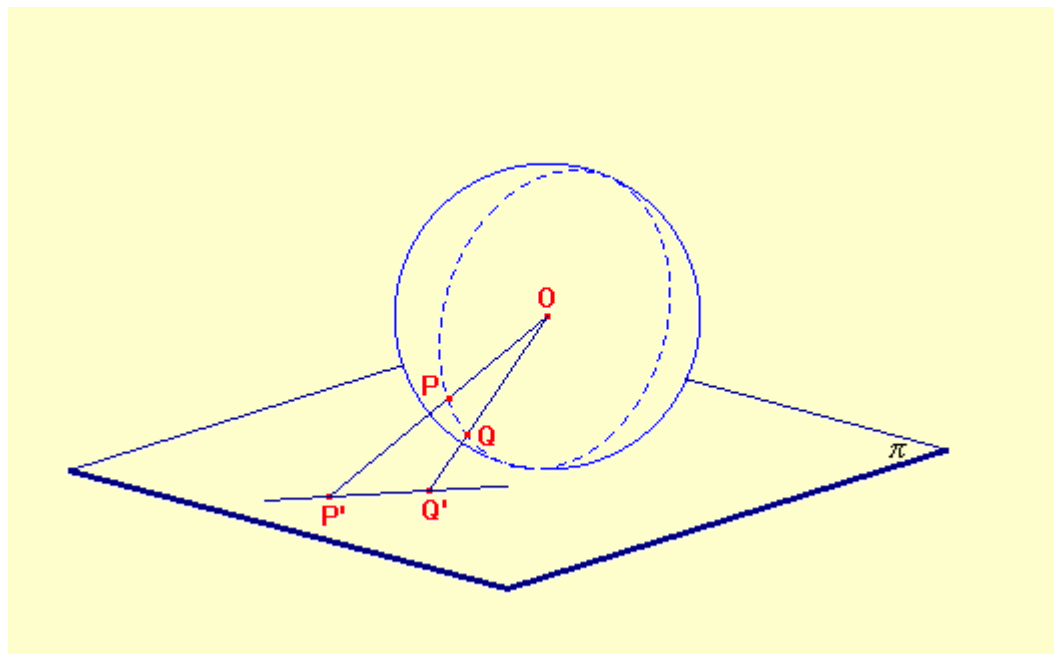
Sono ottenute mediante un piano tangente alla sfera in un punto qualunque della stessa e al variare del punto di osservazione, si distinguono in:

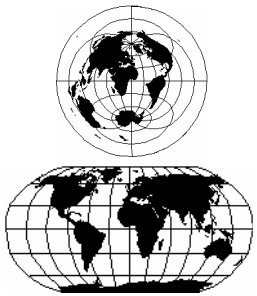
- *centrografica* (il punto di osservazione coincide con il centro della sfera e si proietta sul piano della carta gnomonica polare);
- *stereografica* (il punto di osservazione è sulla superficie della sfera opposta al piano di proiezione);
- *ortografica* (all'infinito e si proietta sul piano tangente al polo opposto).



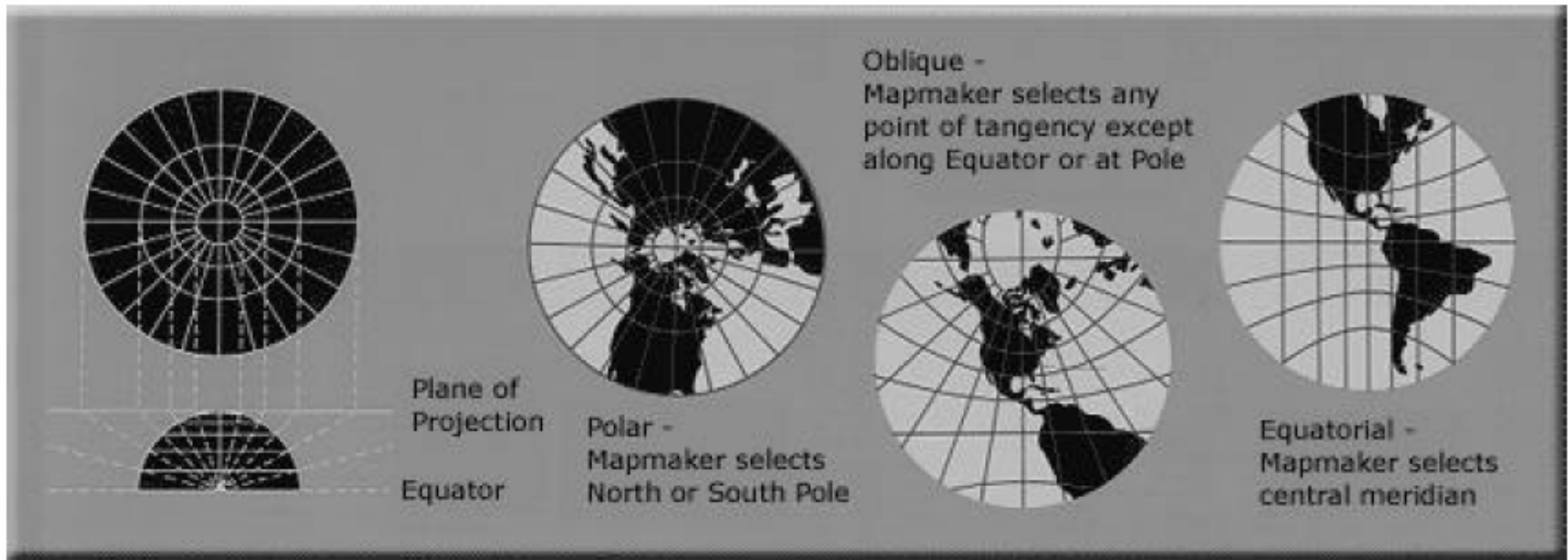
# Proiezione centrografica o Gnomonica

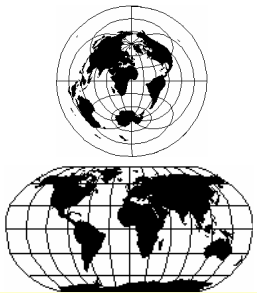
- La proiezione centrografica si ottiene proiettando i punti della sfera, dal centro al piano tangente al polo sud (o nord).





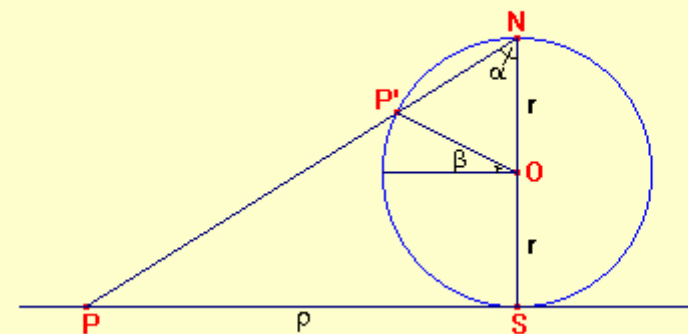
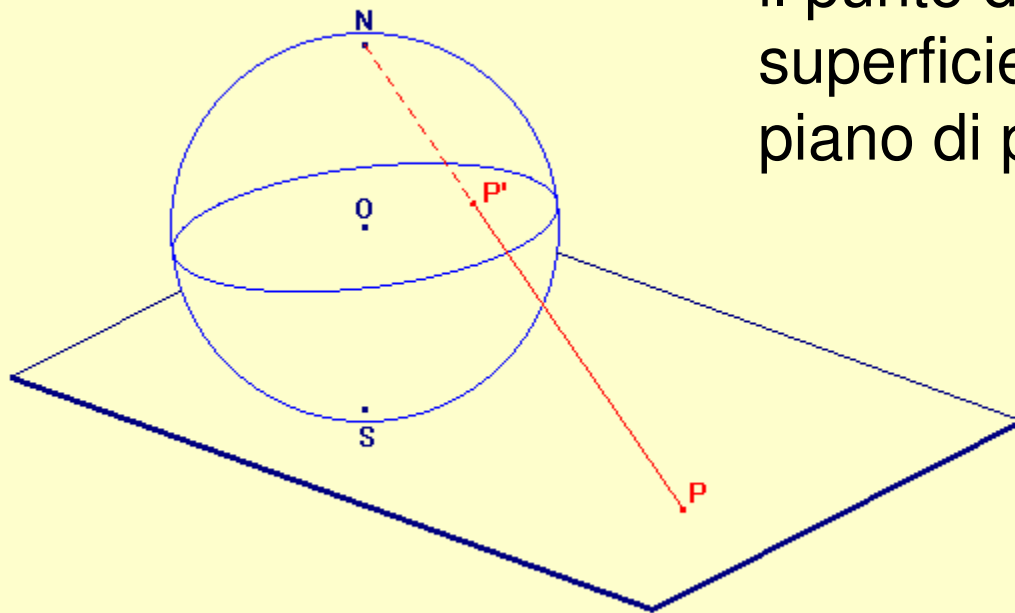
# Proiezione centrografia o Gnomonica

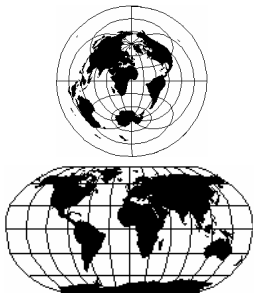




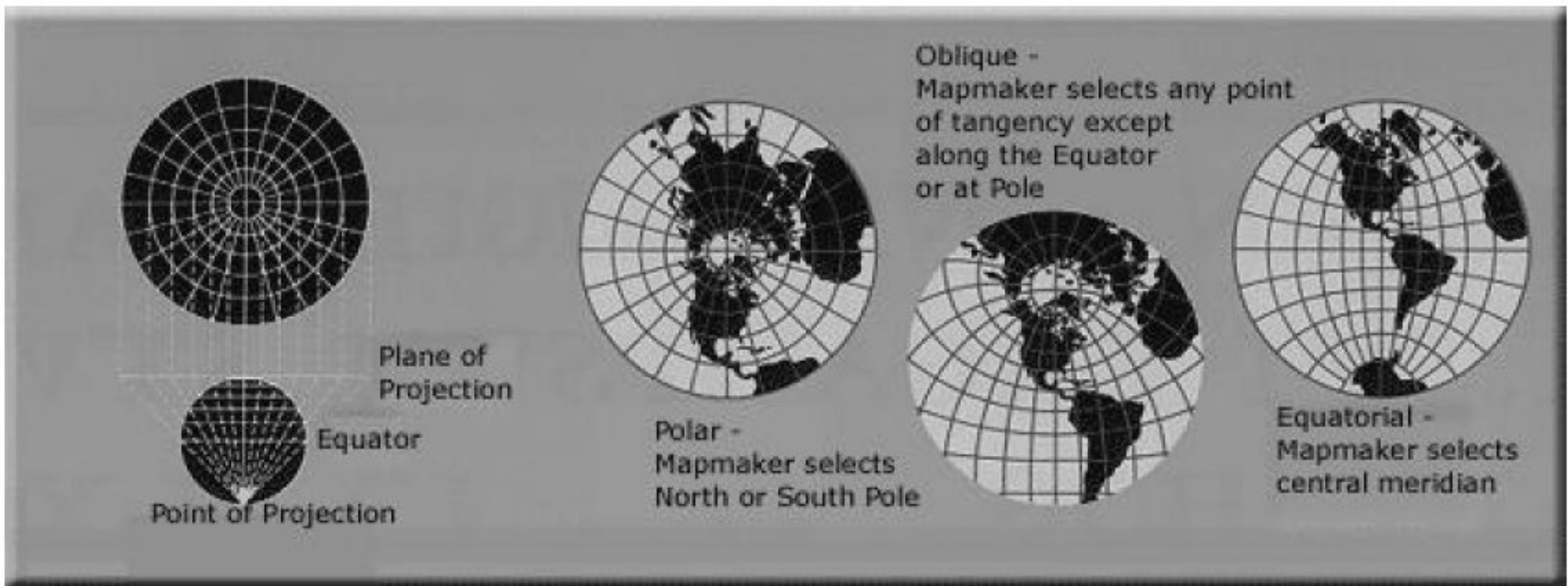
# Proiezione stereografica

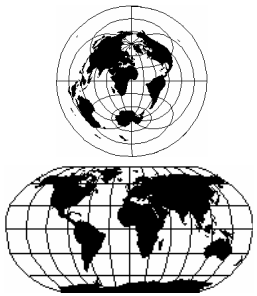
il punto di osservazione è sulla superficie della sfera opposta al piano di proiezione





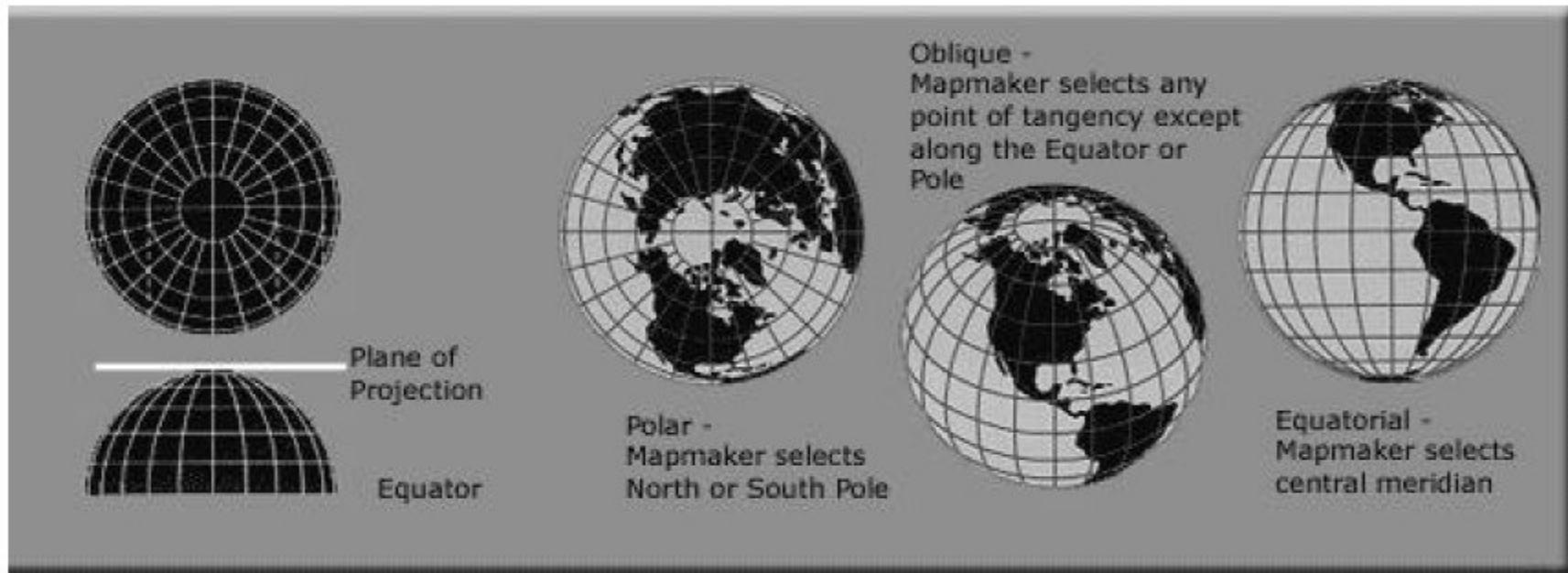
# Proiezione stereografica

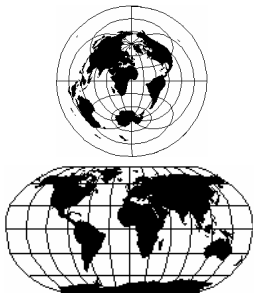




# Proiezione ortografica

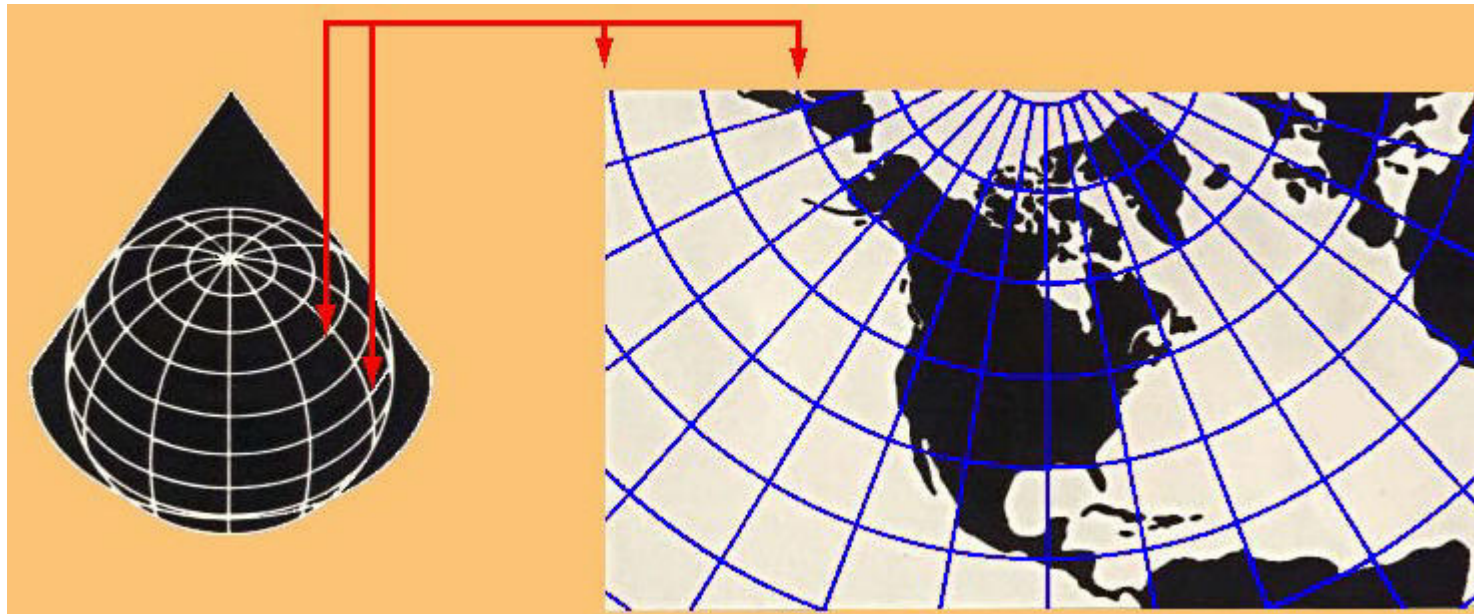
Il punto di osservazione è all'infinito e si proietta sul piano tangente al polo opposto

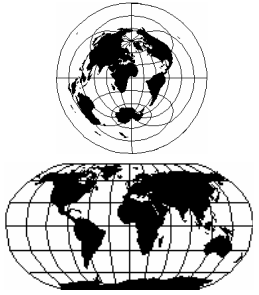




# Proiezioni coniche

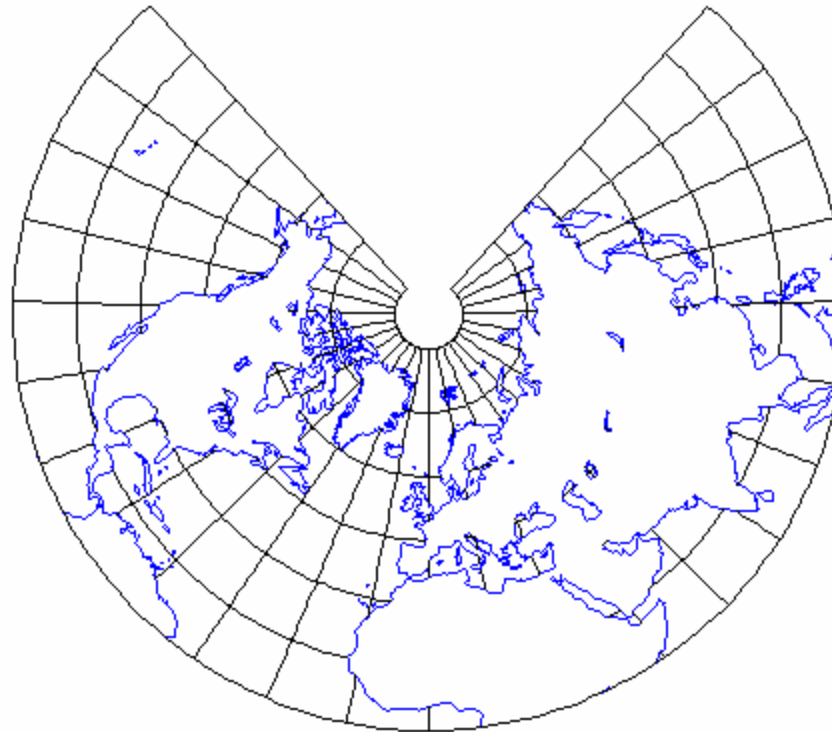
- si realizzano proiettando i punti della sfera su un cono tangente ad un parallelo.





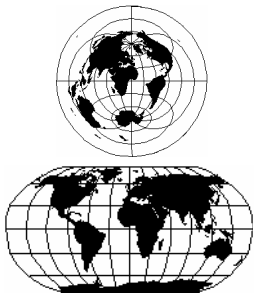
# Conical equidistant projection

Abstandstreuer Kegelentwurf



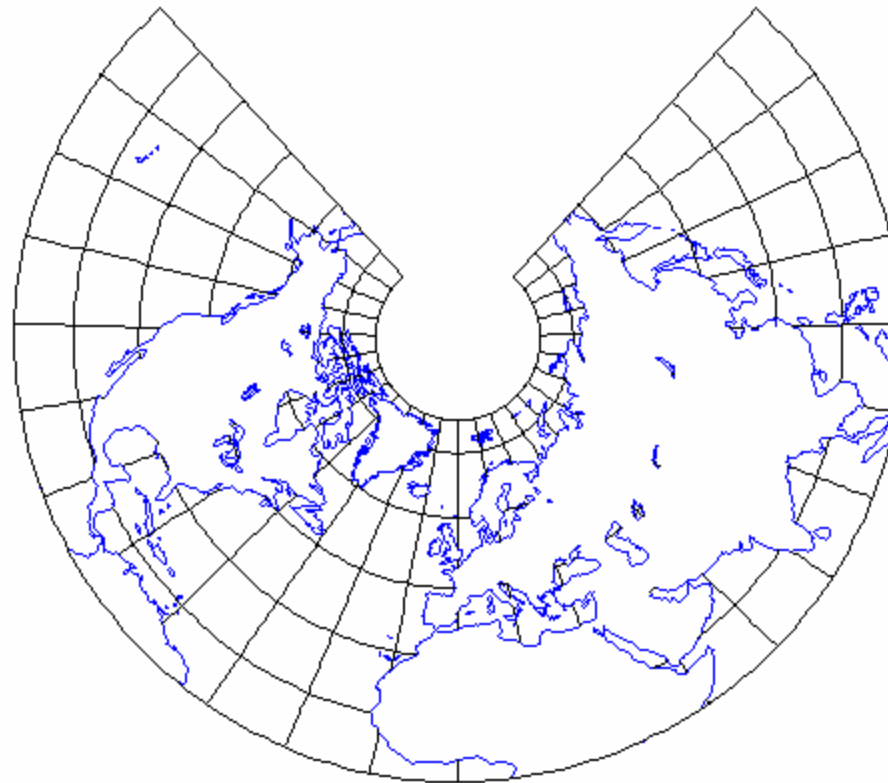
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )

Havlicek TU Wien 1133



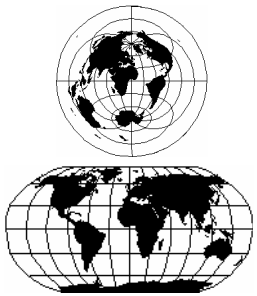
# Conical equal-area projection

Flächentreuer Kegelentwurf



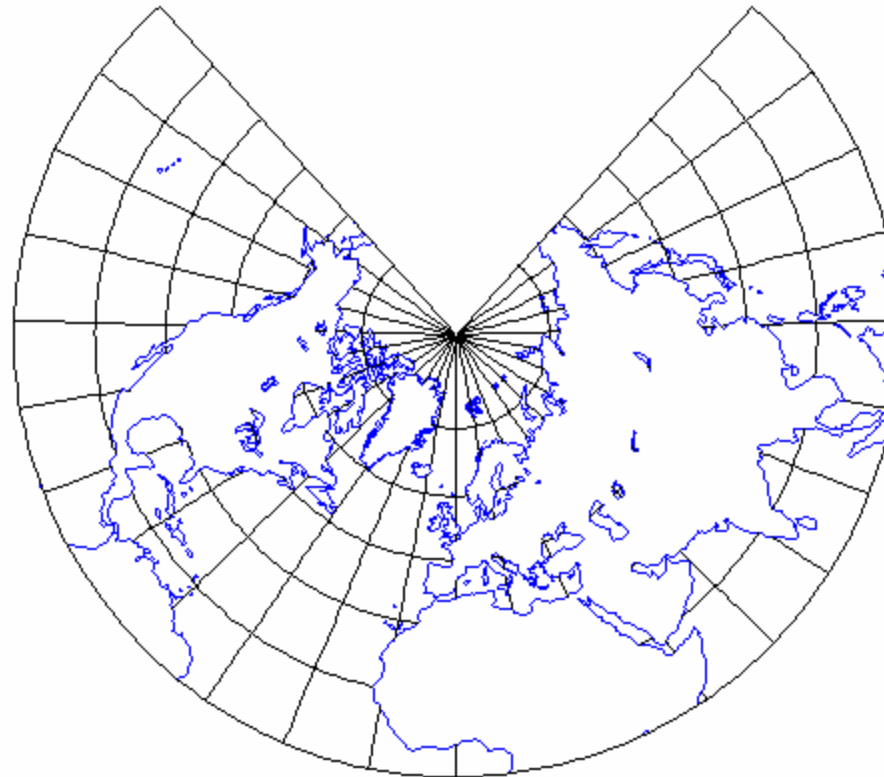
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )

Havlicek TU Wien 1133



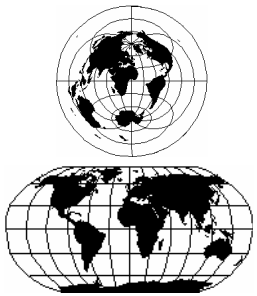
# Conical conformal projection

Konformer Kegelentwurf



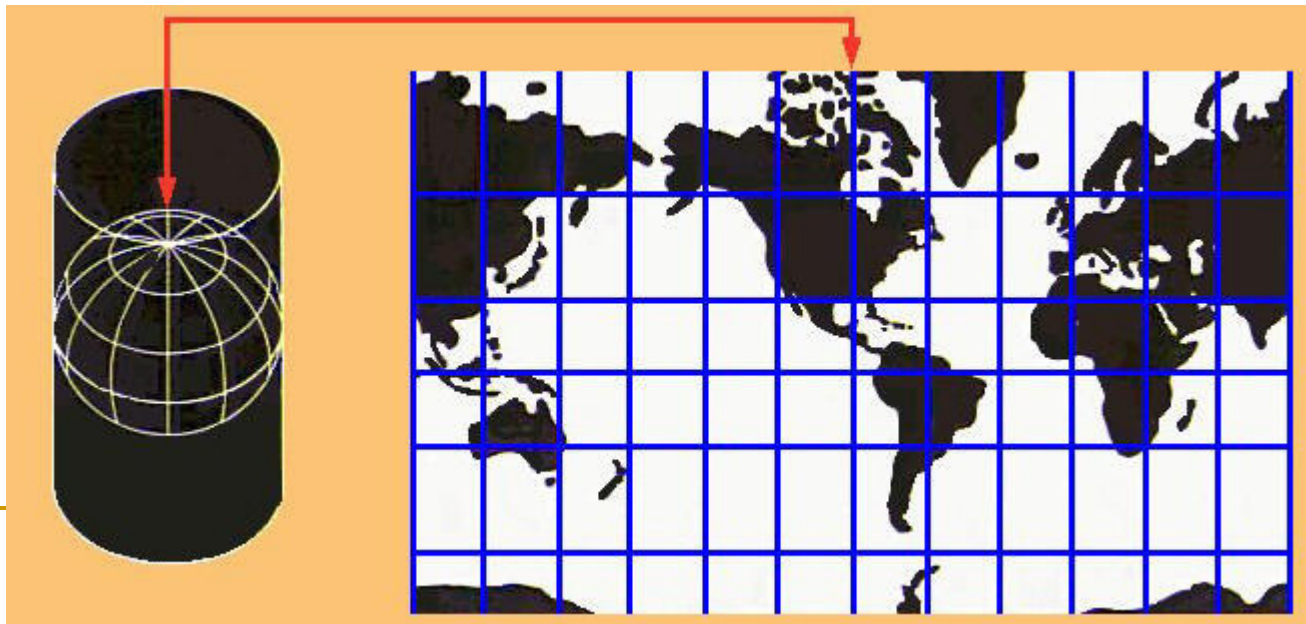
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )

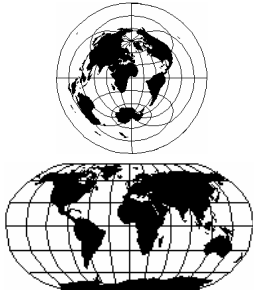
Havlicek TU Wien 1133



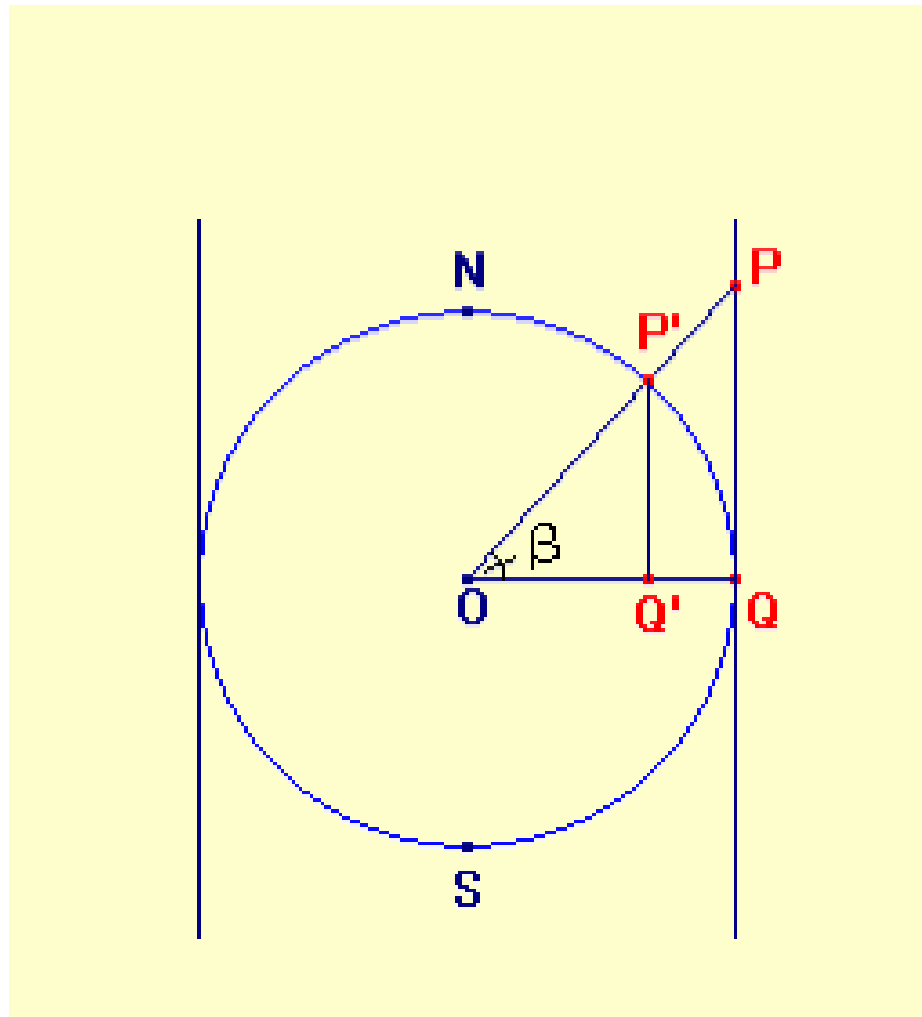
## Proiezioni cilindriche

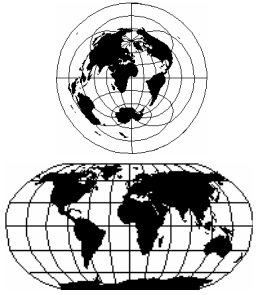
- si ottengono avvolgendo il globo con un cilindro tangente all'Equatore, si proietta la superficie terrestre dal suo centro sul cilindro, dopodichè basta tagliare il cilindro lungo una sua generatrice.





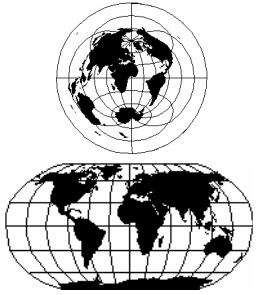
# Proiezione cilindrica





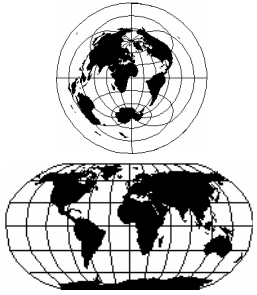
## Proiezione di Mercatore

- La proiezione isogona di *Mercatore* (1541) è una cilindrica modificata in cui 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.
- I paralleli ed i meridiani sono rappresentate da un reticolato cartesiano di rette ortogonali.



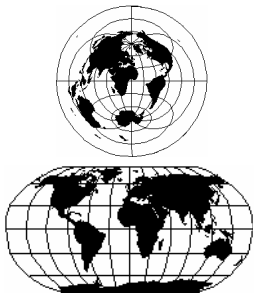
# Proiezione di Mercatore

- La proiezione di Mercatore è di grande importanza proprio per la proprietà che le linee della longitudine, le linee della latitudine e le lossodromiche compaiono tutte come linee rette sulla mappa.
- Naturalmente la proiezione di Mercatore è tale che le distanze vicino ai poli risultano notevolmente distorte. È interessante osservare che su una mappa terrestre ottenuta con la proiezione di Mercatore, la Groenlandia (che si estende per circa 2 milioni di km<sup>2</sup>) sembra essere più grande dell'Africa (che misura invece circa 30 milioni di km<sup>2</sup>).

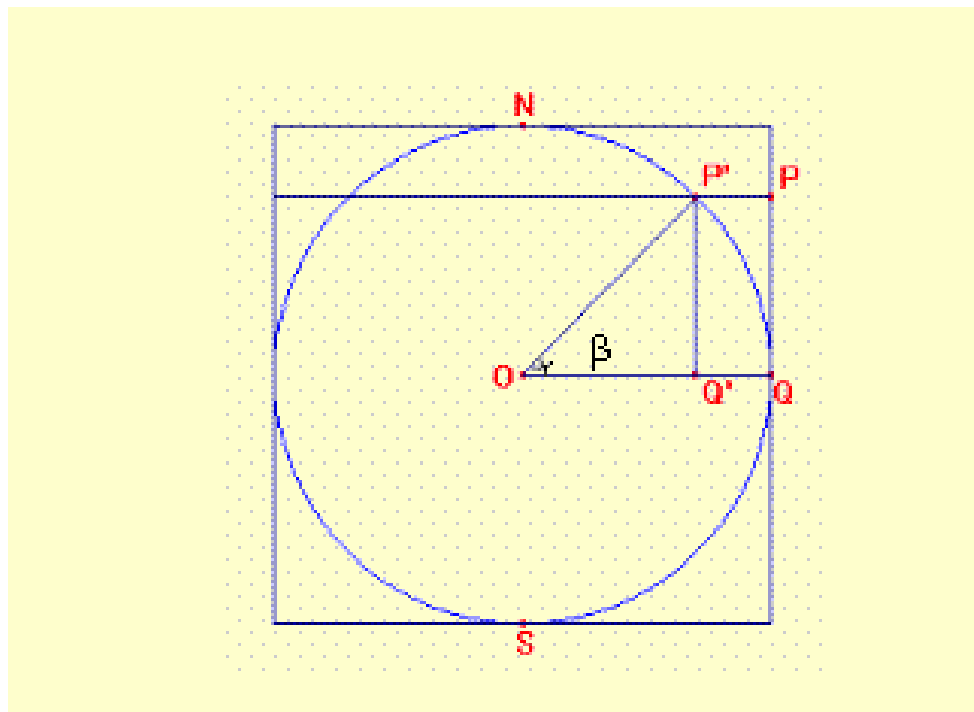


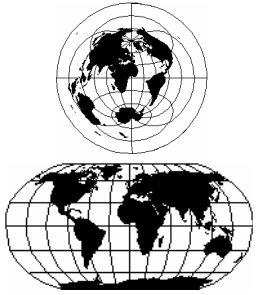
# Proiezione Lambertiana

- La proiezione di Lambert fa parte anch'essa delle proiezioni che consentono di rappresentare i paralleli ed i meridiani mediante un reticolato cartesiano di rette tra loro ortogonali. In questo caso, però, ci si propone di ottenere una proiezione equivalente.
- Eccone la costruzione: dopo aver circoscritto alla superficie terrestre un cilindro, si considera il piano parallelo al piano equatoriale e passante per un punto qualsiasi  $P'$  della sfera e il semipiano per l'asse polare che contiene il meridiano passante per  $P'$ . Questi determinano una retta che interseca il cilindro in un punto  $P$ , che diremo l'immagine di  $P'$ ;



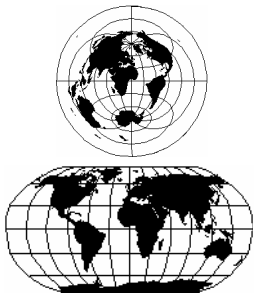
# Proiezione Lambertiana





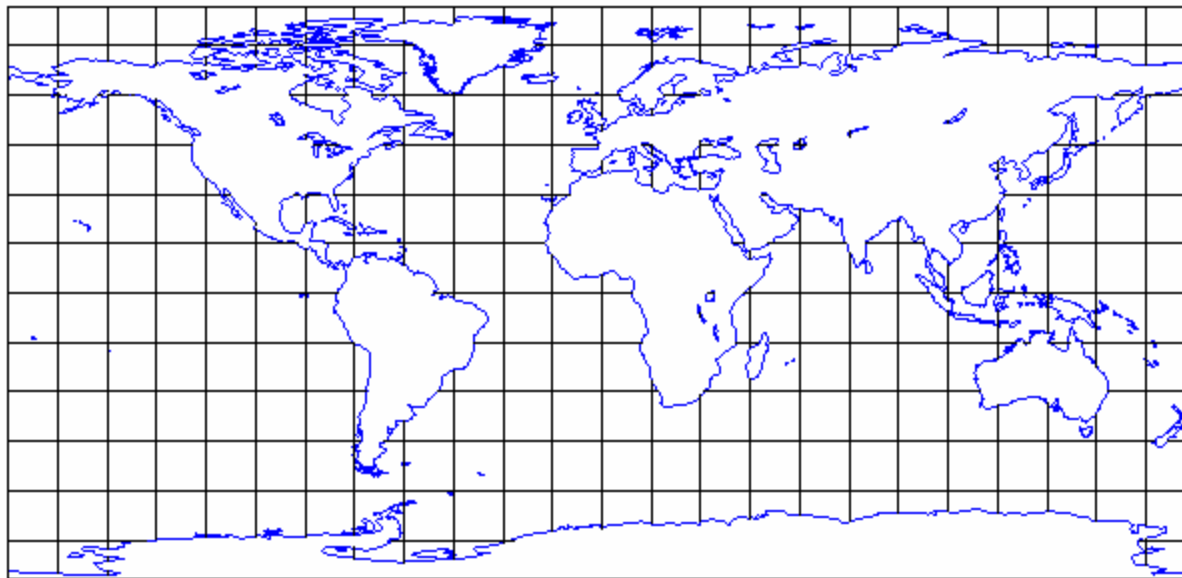
## Confronto

- Nella proiezione di Mercatore le superfici si deformano sempre più con l'avvicinarsi ai Poli (ad esempio la Groenlandia appare più vasta dell'America Meridionale).
- Nella proiezione azimutale equivalente di *Lambert*, che ha il punto di osservazione all'infinito, i meridiani sono rettilinei e perpendicolari all'Equatore, i paralleli invece si infittiscono a mano a mano che si avvicinano al Polo, il quale risulta essere un segmento e non un punto.



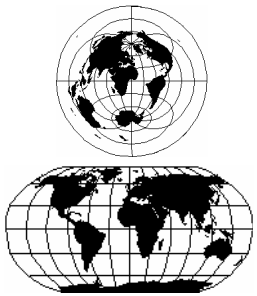
# Cylindrical equidistant projection

Abstandstreuer Zylinderentwurf



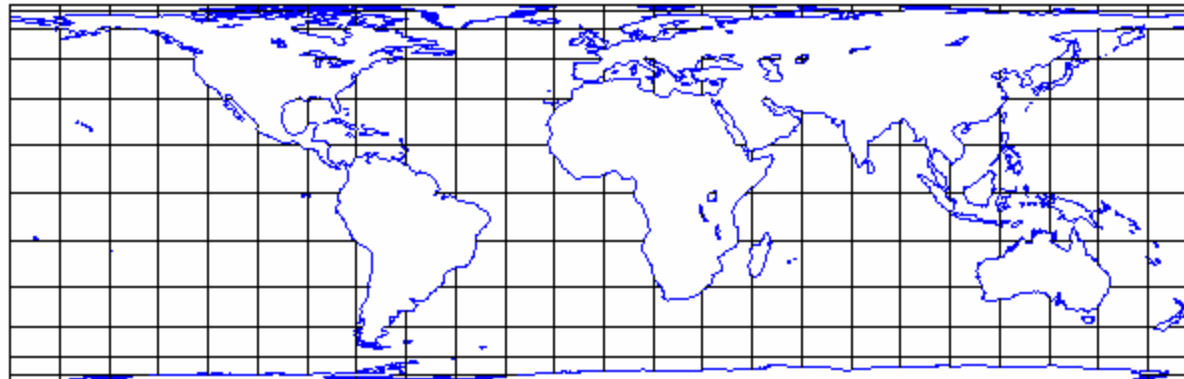
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )

Havlicek TU Wien 1133



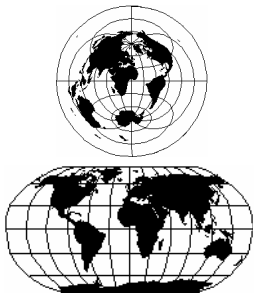
# Cylindrical equal-area projection

Flächentreuer Zylinderentwurf



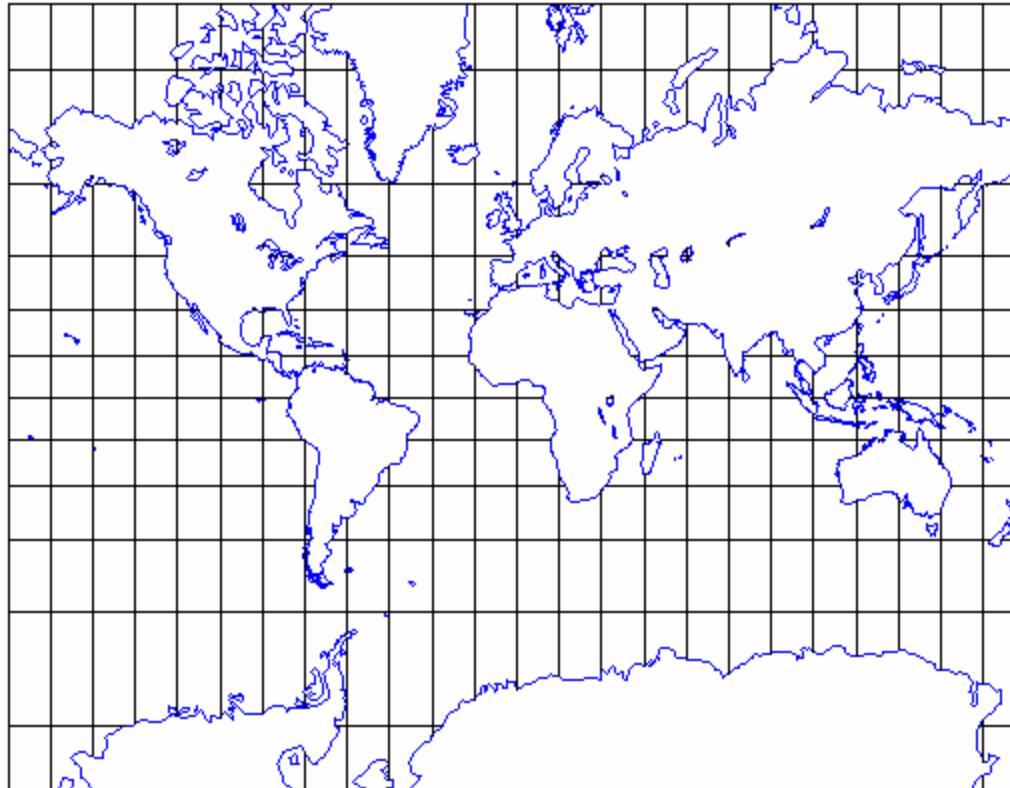
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )

Havlicek TU Wien 1133



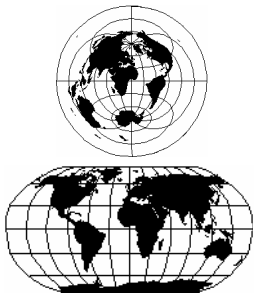
# Proiezione di Mercatore

Konformer Zylinderentwurf



Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0)

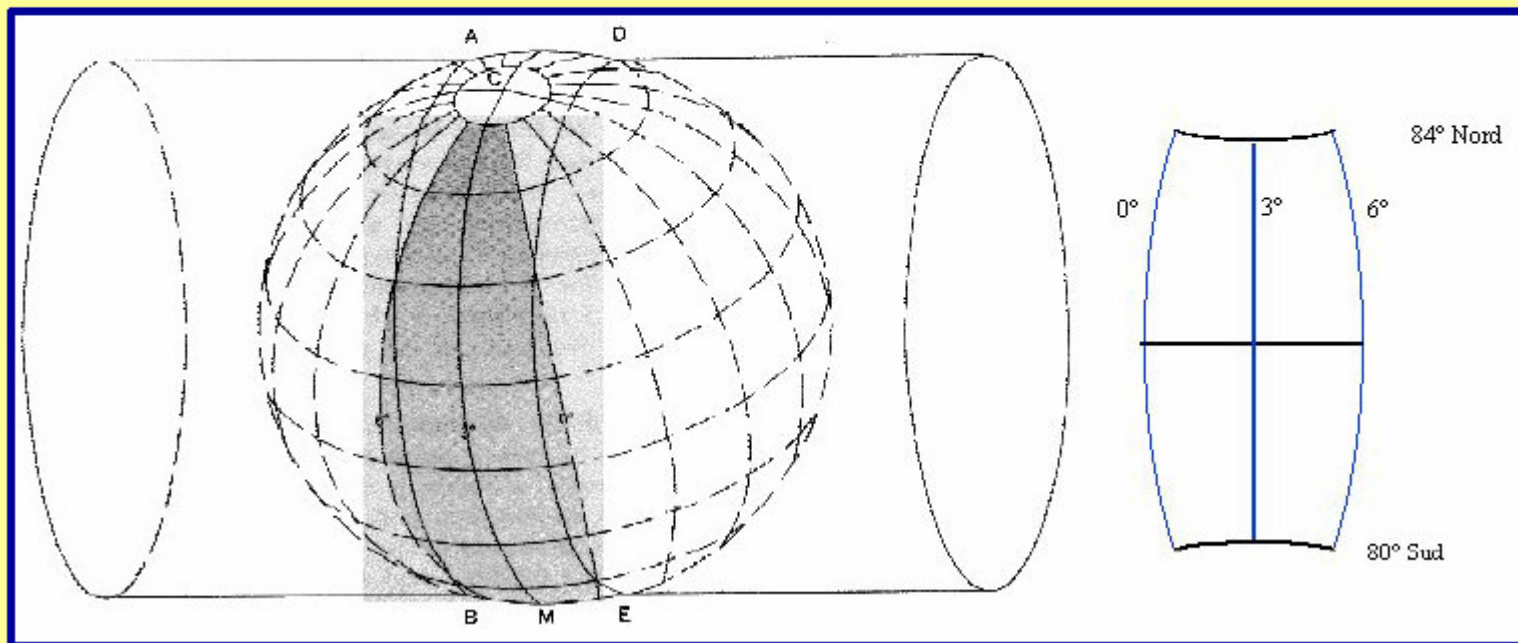
Havlicek TU Wien 1133



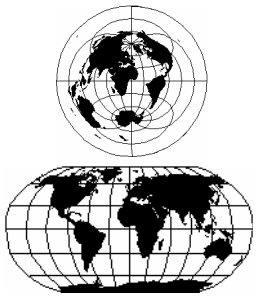
# Proiezione UTM

**La proiezione *Universale Trasversa* di Mercatore si ottiene per rotazione del cilindro tangente ai meridiani dell'elissoide che approssima la superficie terrestre.**

**L'U.T.M. è una proiezione orientata alle applicazioni topografiche**



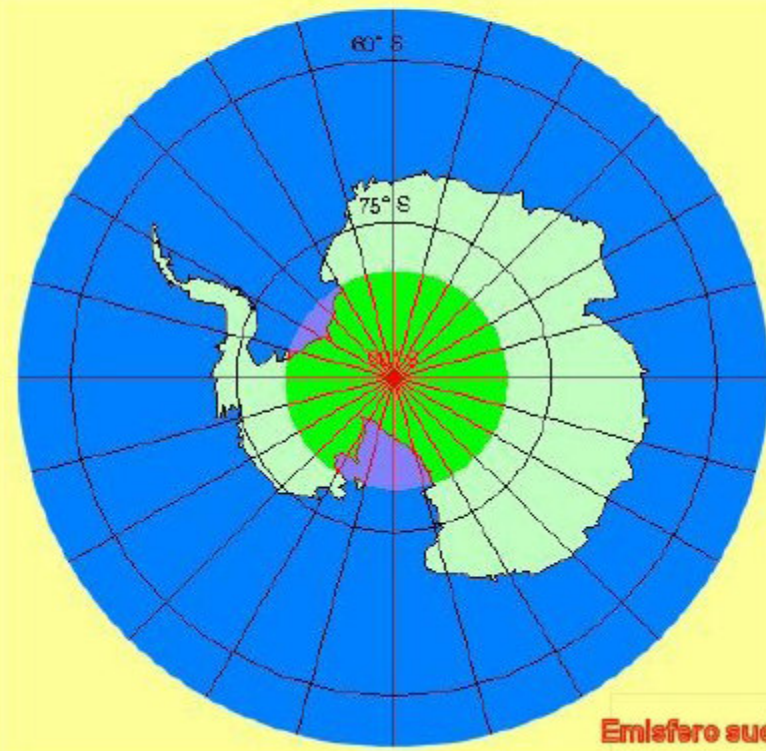
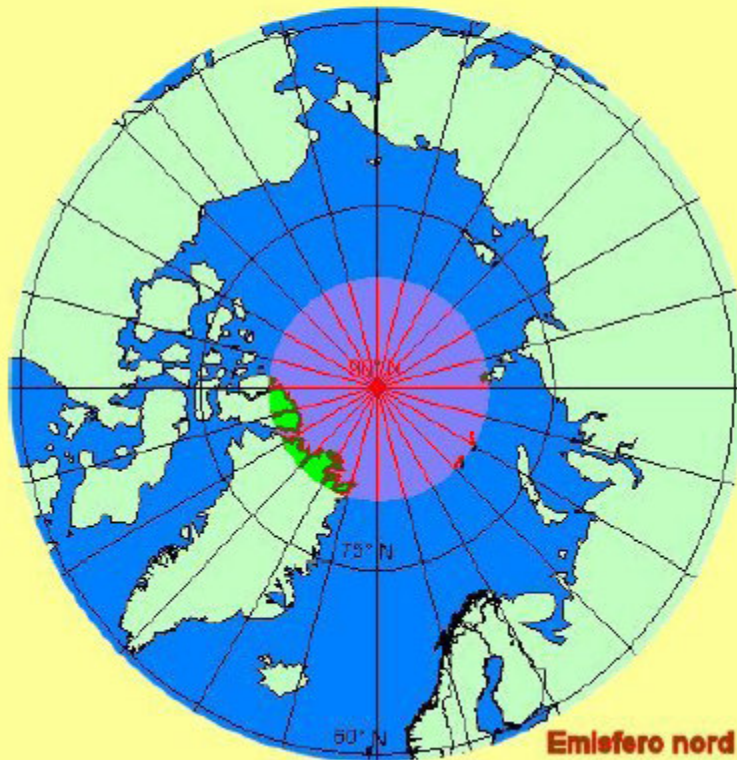
- È usata per i paralleli fino a 84° Nord e 80° Sud.

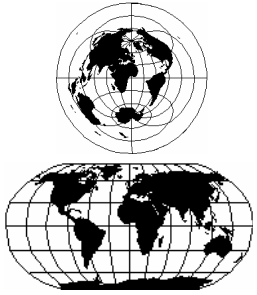


# Proiezione UPS

## Proiezione *Universale Stereografica Polare*

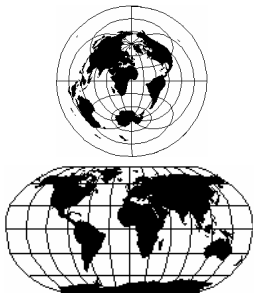
*Per le zone non coperte dal reticolo UTM si usano le proiezioni stereografiche polari (da 84° a 90° nord – da 80° a 90° sud)*





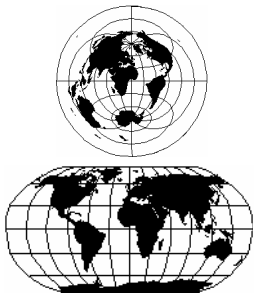
# Quali sono le migliori?

- Tra le numerose proiezioni, nessuna è la migliore in senso assoluto: solo lo scopo prefissato orienta sull'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 prospettiche invece per le latitudini alte.



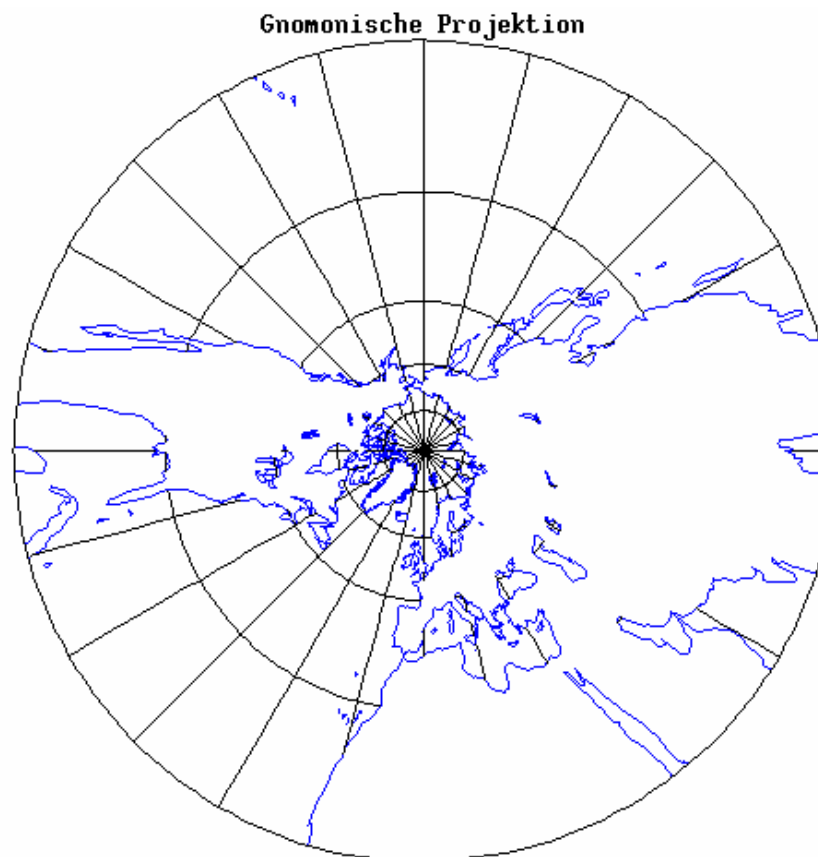
# Quali sono le migliori?

	Proprietà	Denominazione	Esempio
1	Conserva gli angoli	Applicazione conforme	Proiezione stereografica; proiezione di Mercatore
2	Conserva le aree	Applicazione equivalente	Proiezione di Lambert; proiezione di Sanson-Flamsteed
3	Trasforma geodetiche in geodetiche	Applicazione geodetica	Proiezione centrale
4	Trasforma in rette le linee formanti angolo costante con i meridiani	Applicazione lossodromica	Proiezione di Mercatore

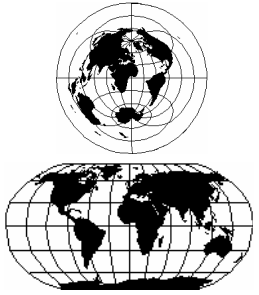


# Aspetti delle proiezioni

## ■ Normale

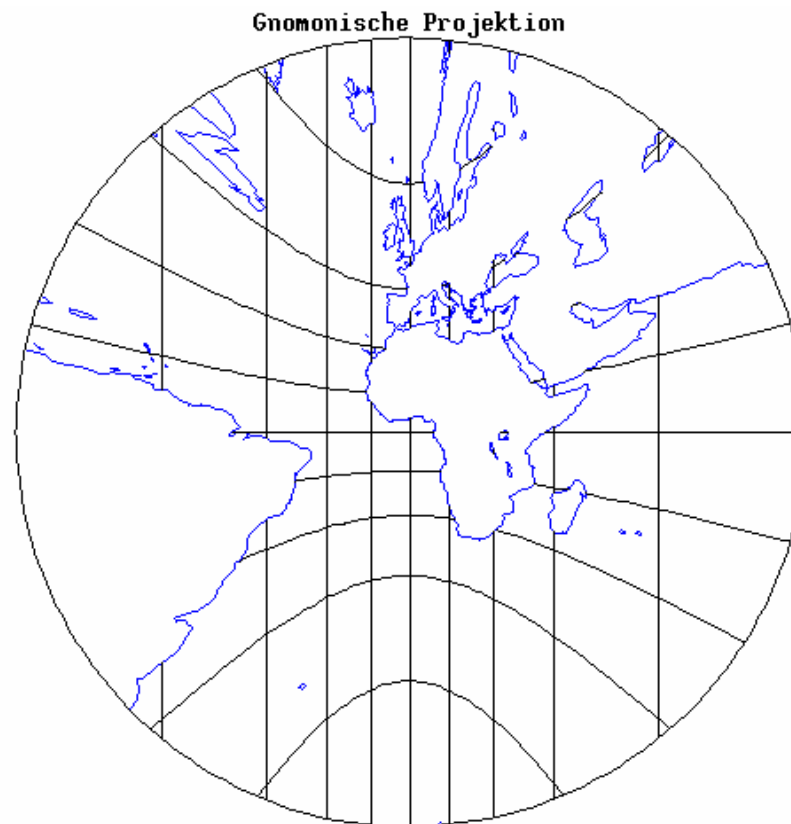


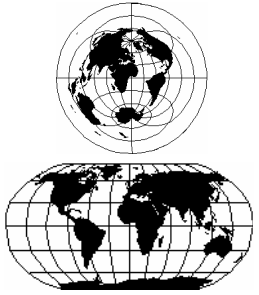
Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0 )



# Aspetti delle proiezioni

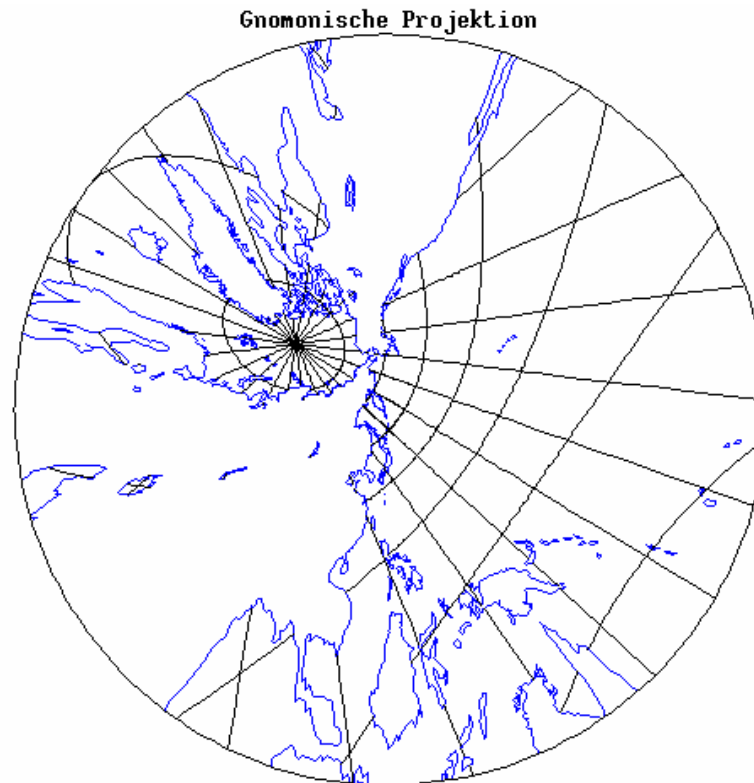
- Transversa. Il punto ( $0^\circ$  E,  $0^\circ$  N) sull'equatore funge da polo nord.

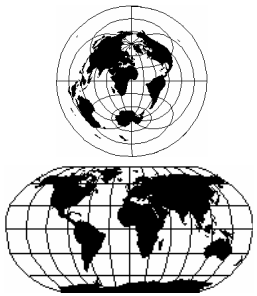




# Aspetti delle proiezioni

- Obliquo. Il punto ( $160^{\circ}$  E,  $50^{\circ}$  N) gioca il ruolo di polo nord.

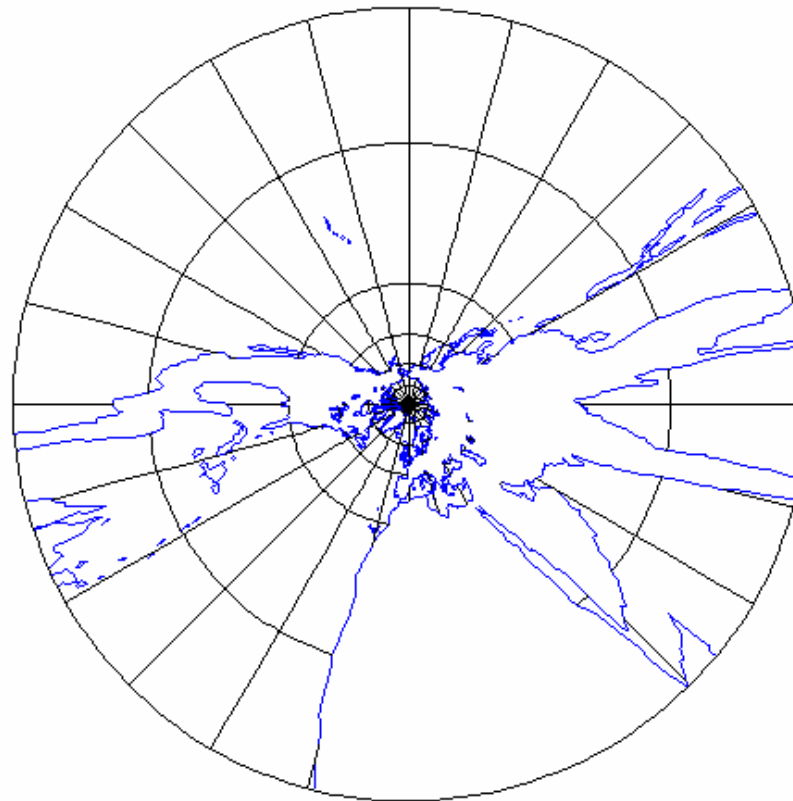




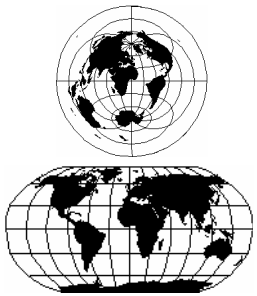
# Aspetti delle proiezioni

- Aspetto normale con la forma esatta del globo.

Gnomonische Projektion



Normale Entwurfsachse ( 0, 90, 0)



# Le proiezioni nei vari paesi

---

## *Projection Type*

## *Country*

---

**Transverse Mercator**

Albania, Australia, Austria, Denmark, Finland, Germany, Great Britain, Ireland, Italy, Luxembourg, Norway, Poland, Portugal, Russia, Spain, Sweden, USA

**Oblique Mercator**

Hungary, Madagascar, Malaysia, Switzerland

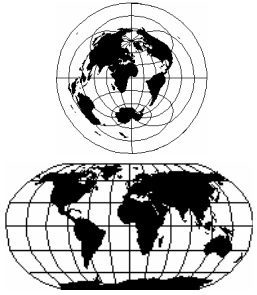
**Lambert Conformal Conic**

Belgium, France, Portugal, USA

**Stereographic**

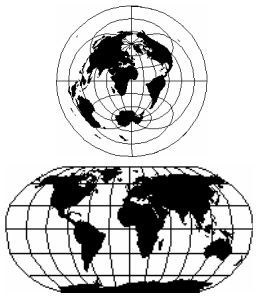
Netherlands (oblique aspect), Poland, Romania, UPS (polar regions)

---



## In Italia

- Per quanto riguarda le carte topografiche d'Italia, l'IGM (Istituto Geografico Militare) adotta la proiezione cilindrica di *Mercatore* (UTM), o conforme di *Gauss*, o di *Gauss-Boaga*, costruita con un cilindro tangente a un meridiano e non all'Equatore. In questo modo la proiezione, teoricamente solo conforme, diventa equidistante e, entro certi limiti, anche equivalente.



# L'Italia in UTM (ED50)

**L'Italia in coordinate UTM viene individuata da:**

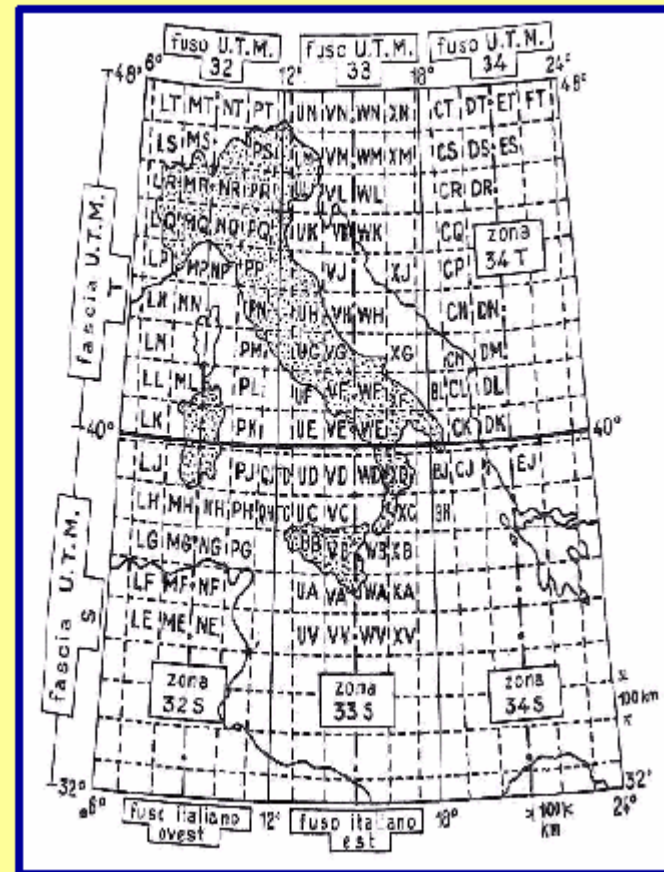
• **due fusi:**

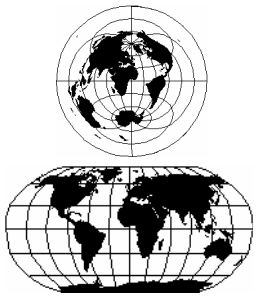
- Fuso italiano ovest U.T.M. 32
- Fuso italiano est U.T.M. 33

• **due fasce:**

- Fascia U.T.M. **T** a nord
- Fascia U.T.M. **S** a sud

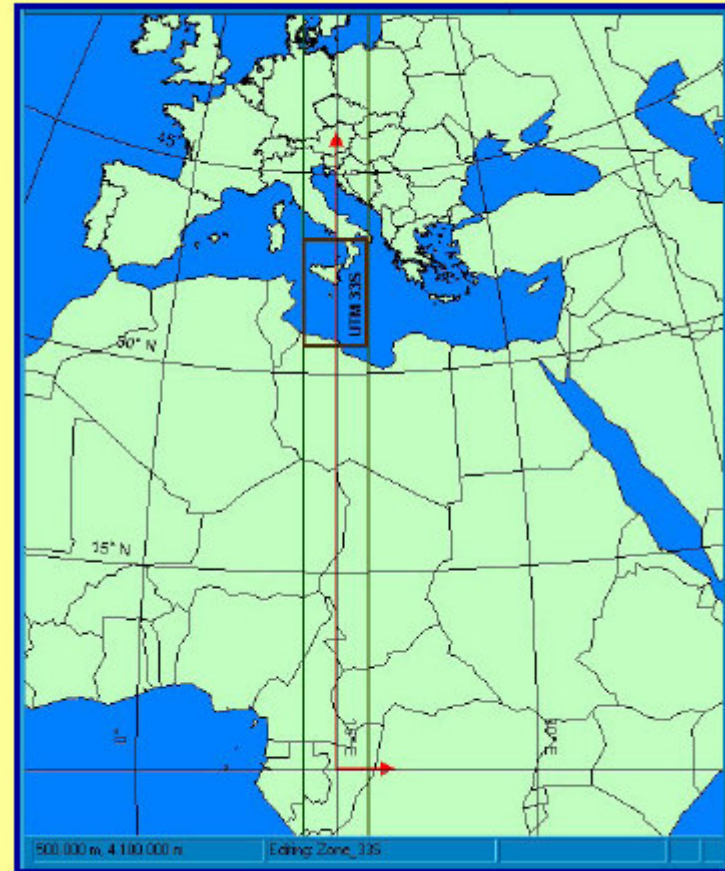
**La Sicilia ricade nella  
Zona 33S**

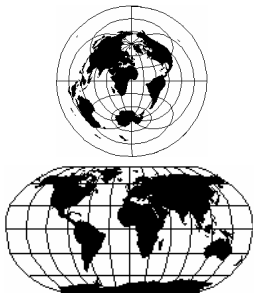




# Le coordinate per la zona 33S

Il sistema di riferimento delle coordinate dei punti per la **Zona 33S** sono riferite all'**equatore** e al **meridiano centrale del fuso**, al quale si attribuisce la **falsa origine** (per le ascisse)  **$E = 500 \text{ km}$**





# Italia in Gauss Boaga (Monte Mario 1940)

L'Italia in coordinate **Gauss Boaga** viene individuata da

- **due fusi di ampiezza 6°:**
  - Fuso ovest da 6° a 12°
  - Fuso est da 12° a 18°
- **Con sistema di riferimento:**
  - Origine ordinate all'equatore
  - False origine delle ascisse
    - 1500 Km Est per il fuso ovest
    - 2520 km Est per il fuso est

La Sicilia ricade nel **Fuso Est**

